



TUGAS AKHIR - RE 184804

**KAJIAN KUALITAS DAN STATUS MUTU AIR
TERHADAP UPAYA PENGELOLAAN AIR
WADUK DENGAN PENDEKATAN SISTEM
DINAMIK**

(Studi Kasus : Bozem Morokrembangan)

Emelya Eka Safitri Paitaha

03211640007001

Dosen Pembimbing

Prof.Dr.Ir.Nieke Karnaningroem,M.Sc

19550128 198503 2 001

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2020



FINAL PROJECT - RE 184804

***STUDY OF THE QUALITY AND STATUS OF
WATER QUALITY ON RESERVOIR WATER
MANAGEMENT EFFORTS USING A DYNAMIC
SYSTEM APPROACH***

(Study Case : Bozem Morokrembangan)

Emelya Eka Safitri Paitaha
03211640007001

Supervisor
Prof.Dr.Ir.Nieke Karnaningroem,M.Sc
19550128 198503 2 001

DEPARTEMEN OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil, Planning, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2020

LEMBAR PENGESAHAN

KAJIAN KUALITAS DAN STATUS MUTU AIR TERHADAP UPAYA PENGELOLAAN AIR WADUK DENGAN PENDEKATAN SISTEM DINAMIK (OBJEK : BOZEM MOROKREMBANGAN)

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada


Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Pemohon

EMELYA EKA SAFITRI PAITAHA

NRP.03211640007001

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir



Prof. Dr. Ir. Nieke Karnangniroem, M.Sc

NIP. 19550128 198503 2 001

SURABAYA, AGUSTUS 2020



**KAJIAN KUALITAS DAN STATUS MUTU AIR
TERHADAP UPAYA PENGELOLAAN
AIR WADUK DENGAN PENDEKATAN SISTEM DINAMIK
(Studi Kasus : Bozem Morokrembangan)**

Mahasiswa : Emelya Eka Safitri Paitaha
N R P : 03211640007001
Pembimbing : Prof.Dr.Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc

ABSTRAK

Bozem Morokrembangan merupakan salah satu bozem terluas di Surabaya dengan luas wilayah $\pm 78,69$ Ha yang diperuntukkan sebagai pengendali banjir Kota Surabaya. Akan tetapi, kondisi Bozem Morokrembangan mengalami penurunan mutu air akibat masuknya beban pencemar yang berasal dari limbah buangan yang terbawa saluran – saluran drainase yang masuk kedalam Bozem Morokrembangan. Penelitian ini bermanfaat untuk membantu pemerintah Kota Surabaya dalam mengembalikan fungsi Bozem Morokrembangan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa status mutu air Bozem Morokrembangan adalah tercemar sedang dengan beban pencemaran tertinggi berasal dari Kali Purwodadi dengan konsentrasi beban pencemar COD 28,283 mg/L, BOD₅ 7,491 mg/L, Ammonia 6,18 mg/L, dan konsentrasi Total Fosfat 6,18 mg/L. Total beban pencemaran yang masuk kedalam Bozem berasal dari pemukiman rata – rata sebesar 99,87 Ton/tahun dan industri rata – rata sebesar 0,0028 Ton/tahun dengan total beban limbah berdasarkan simulasi model sub dinamik rata – rata sebesar 26.923 Ton/tahun.

Upaya pengelolaan dapat dilakukan menggunakan skenario optimistik dengan membangun IPAL komunal pada kelurahan yang belum memiliki IPAL serta menerapkan program 3R untuk mereduksi limbah padat (sampah), melakukan upaya pengelolaan lahan ramah lingkungan dan meningkatkan partisipasi masyarakat.

Kata Kunci : Bozem, Status Mutu Air, Beban Pencemaran, Sub Model, Skenario Pengelolaan

**STUDY OF THE QUALITY AND STATUS OF WATER
QUALITY ON RESERVOIR WATER MANAGEMENT
EFFORTS USING A DYNAMIC SYSTEM APPROACH**

Student : Emelya Eka Safitri Paitaha
N R P : 03211640007001
Supervisor : Prof.Dr.Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc

ABSTRACT

Bozem Morokrembangan is one of the largest bozem in Surabaya with an area of $\pm 78,69$ Ha which is designated as a flood controller in the city of Surabaya. However, the condition of Bozem Morokrembangan experienced a decrease in water quality due to the inclusion of pollutant loads originating from waste discharges carried by the drainage channels entering Bozem Morokrembangan. The research can be useful for Surabaya Government to return the function of Bozem Morokrembangan.

The results showed that the water quality status of Bozem Morokrembangan was moderately polluted with the highest pollution load coming from Kali Purwodadi with COD pollutant concentration 28,283 mg/L, BOD5 7,491 mg/L, Ammonia 6,18 mg/L, and Total Phosphate concentration of 6,18 mg/L. The total pollution load that enters the Bozem comes from settlements averaging 99.87 Tons/year and industry averages 0.0028 Ton/year with a total waste load based on sub-dynamic simulation models an average of 26,923 Tons/year.

Management efforts can be carried out using an optimistic scenario by building a communal WWTP in the kelurahan in Krembangan District that does not yet have an WWTP and implementing a 3R program to reduce solid waste (garbage), make efforts to manage environmentally friendly land, and increasing community participation.

Keywords: Bozem, Water Quality Status, Load of Pollution, Sub Models, Management Scenario

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena atas berkah, karunia dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir **“Kajian Kualitas dan Status Mutu Air Terhadap Upaya Pengelolaan Air Waduk Dengan Pendekatan Sistem Dinamik”** tepat pada waktu yang telah ditentukan. Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan kelulusan program Sarjana Teknik Lingkungan ITS. Tidak lupa penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak – pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, kepada Yth :

1. Dosen Pembimbing Tugas Akhir, Prof.Dr.Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc., terima kasih atas segala ilmu, arahan, nasehat, serta kesabaran dalam membimbing penulis
2. Dosen pengarah/penguji Ibu Bieby Voijant Tangahu,ST.,MT.,PhD, Ibu Ir. Atiek Moesriati, M.Kes., Ibu Dr.Ir.Ellina Pandebesie, MT, Bapak Arseto Yekti Bagastyo,ST.,MT.,MPhil.,PhD dan Bapak Dr.Ir.Irwan Bagyo,S.MT, terima kasih atas segala saran dan kritiknya.
3. Dosen Wali, Bapak Ir. Mas Agus Mardiyanto, M.E.,Ph.D, terimakasih atas saran dan nasehat yang diberikan kepada penulis selama perkuliahan
4. Teman – teman angkatan 2016 yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan terutama dalam kondisi Pandemi Covid-19, sehingga penulis sangat mengharapkan adanya kritik dan saran yang sangat membangun pada laporan ini. Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini sekiranya dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Surabaya, Juli 2020

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ii
ABSTRACK	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Ruang Lingkup.....	5
TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Gambaran Umum Wilayah Penelitian	7
2.1.1 Deskripsi Wilayah Penelitian	7
2.1.2 Sumber Aliran Bozem Morokrembangan	8
2.2 Waduk dan Ekosistem Waduk.....	9
2.2.1 Pengertian Waduk	9
2.2.2 Ekosistem Waduk	10
2.3. Pencemaran Air Waduk.....	13
2.3.1 Sumber Pencemaran Waduk	14
2.3.2. Parameter Pencemaran Waduk	14
2.3.3. Beban Pencemaran Air Waduk.....	19

2.4. Indeks Pencemaran (IP)	20
2.5. Sistem Dinamis.....	23
2.5.1. <i>Causal Loop Diagram</i> (CLD).....	24
2.5.2. <i>Stock dan Flow</i>	26
2.6. Stella 9.1.3.....	28
2.7 Penelitian Terdahulu.....	30
METODE PENELITIAN.....	32
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	32
3.2 Kerangka Penelitian	32
3.3 Bahan dan Alat Penelitian	32
3.4 Metode Pengumpulan Data.....	33
3.4.1. Data Primer	33
3.4.2. Data Sekunder	33
3.5 Aspek Penelitian	34
3.6 Penentuan Titik Sampling.....	36
3.7 <i>Causal Loop Diagram</i> (CLD)	39
3.8 Beban Pencemaran Bozem Morokrembangan	41
3.9 Validasi Model	42
HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1. Kualitas Air Bozem Morokrembangan.....	43
4.1.1. Suhu	44
4.1.2. Derajat Keasaman (pH)	45
4.1.3. <i>Dissolved Oxygen</i> (DO)	47
4.1.4. <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	49
4.1.5. <i>Biochemical Oxygen Demand</i> (BOD ₅)	52
4.1.6. Ammonia (NH ₃ -N)	55

4.1.7. Total Phosfat (PO_4^{3-})	56
4.2. Penentuan Status Mutu Air dengan Metode IP	60
4.3. Sub Sistem Dinamik Kualitas Air Bozem Morokrembangan	66
4.3.1. Sub Model Analisis Beban Pencemaran Inlet Bozem Morokrembangan	67
4.3.2. Sub Model Pemukiman Terhadap Kualitas Air Bozem Morokrembangan	72
4.3.3. Sub Model Industri Terhadap Kualitas Air Bozem Morokrembangan	77
4.4. Upaya Pengelolaan Kualitas Perairan Bozem Morokrembangan Dengan Aspek Teknis Menggunakan Pendekatan Sistem Dinamik.....	82
4.4.1. Sub Model Diagram Alir Pengelolaan Bozem Morokrembangan	82
4.4.2. Uji Validitas Model	86
4.4.3. Skenario Upaya Pengelolaan Bozem Morokrembangan	89
4.4.4. Analisis Skenario Upaya Pengelolaan	96
4.5. Upaya Pengelolaan Dengan Aspek Lingkungan	99
KESIMPULAN DAN SARAN	103
5.1. Kesimpulan	103
5.2. Saran.....	103
DAFTAR PUSTAKA	105
LAMPIRAN.....	116
Lampiran I Kualitas Air Bozem Morokrembangan.....	114
Lampiran II Indeks Pencemaran Kualitas Air Bozem Morokrembangan.....	118
Lampiran III Pengambilan Sampel dan Analisis Laboratorium	125
Lampiran IV Beban Pencemaran Pemukiman dan Industri	128

Lampiran V Running Model dengan Stella Versi 9.1.3	133
Lampiran VI Formulasi Input Model dengan <i>Stella</i> Versi 9.1.3.	134
Lampiran VII Dokumentasi Kondisi Eksisting Bozem Morokrembangan.....	142

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kualitas Air Bozem Morokrembangan Tahun 2019	8
Tabel 2. 2 Kriteria Status Trofik Danau	13
Tabel 2. 3 Komposisi Beban Pencemaran	19
Tabel 2. 4 Kategori Status Mutu Air Metode IP	21
Tabel 2. 5 Daftar Penelitian Terdahulu	30
Tabel 3. 1 Lokasi dan Koordinat Pengambilan Sampel	39
Tabel 4. 1 Perbandingan Rasio BOD/COD Bozem Morokrembangan	54
Tabel 4. 2 Perbandingan Kualitas Air Data Primer dan Data Sekunder	59
Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Status Mutu Air	65
Tabel 4. 4 Debit Inlet dan Outlet Bozem Morokrembangan	68
Tabel 4. 5 Hasil Simulasi Total Beban Pencemaran Bozem Morokrembangan Periode 2011 – 2022 (Ton/tahun)	87
Tabel 4. 6 Hasil Validitas Sub Model Pemukiman	88
Tabel 4. 7 Hasil Validitas Sub Model Industri	89
Tabel 4. 8 Simulasi Skenario Pengelolaan Terhadap Kondisi Bozem Morokrembangan	90

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Wilayah Penelitian	7
Gambar 2. 2 <i>Causal Loop Diagram</i> (CLD)	26
Gambar 2. 3 <i>Stock</i> dan <i>flow</i>	28
Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian	35
Gambar 3. 2 Lokasi Pengambilan Sampel.....	38
Gambar 3. 3 <i>Causal Loop</i> Kualitas Perairan.....	40
Gambar 4. 1 Grafik Konsentrasi Suhu Bozem Morokrembangan	45
Gambar 4. 2 Grafiik Konsentrasi pH Bozem Morokrembangan ..	46
Gambar 4. 3 Grafik Konsentrasi DO Bozem Morokrembangan ..	47
Gambar 4. 4 Grafik Konsentrasi COD Bozem Morokrembangan	50
Gambar 4. 5 Grafik Konsentrasi BOD ₅ Bozem Morokrembangan	52
Gambar 4. 6 Grafik Konsentrasi NH ₃ -N Bozem Morokrembangan	55
Gambar 4. 7 Grafik Konsentrasi Total phosfat Bozem Morokrembangan	57
Gambar 4. 8 Grafik Skor Indeks Pencemaran Bozem Morokrembangan	63
Gambar 4. 9 Sub Model Beban Pencemaran Inlet Bozem	69

Gambar 4. 10 Beban Pencemaran Inlet Bozem	
Morokrembangan.....	70
Gambar 4. 11 Sub Model Beban Pencemaran Limbah	
Pemukiman	73
Gambar 4. 12 Sub model beban pencemaran pemukiman	75
Gambar 4. 13 Grafik Beban Limbah Pencemaran Pemukiman ..	76
Gambar 4. 14 Sub Model Pencemaran Limbah Industri	78
Gambar 4. 15 Sub model beban pencemaran industri	79
Gambar 4. 16 Grafik Beban Limbah Pencemaran Industri	80
Gambar 4. 17 Sub Diagram Alir Model Upaya Pengelolaan	
Bozem Morokrembangan	83
Gambar 4. 18 Grafik Total Beban Pencemaran	84
Gambar 4. 19 Simulasi Skenario Pesimistik	93
Gambar 4. 20 Simulasi Skenario Moderat	94
Gambar 4. 21 Simulasi Skenario Optimistik.....	95
Gambar 4. 22 Perbandingan Hasil Simulasi Skenario	96

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Surabaya merupakan salah satu Kota terbesar di Indonesia dengan jumlah penduduk 2.904.751 jiwa (BPS Kota Surabaya, 2019). Peningkatan jumlah penduduk mempengaruhi banyak faktor yang perlu diperhatikan salah satunya pembuangan air limbah ke perairan. Selain itu, peningkatan jumlah penduduk mengakibatkan semua sektor produksi dan konsumsi meningkat. Menurut catatan Lembaga Bantuan Hukum (LBH) Surabaya tahun 2019, terdapat 19 kasus pencemaran yang terjadi di Kota Surabaya dengan pencemaran tertinggi yaitu pencemaran sungai. Unsur pencemaran yang masuk ke sungai dapat bersumber dari *point source* dan *nonpoint source* yang akan terbawa ke perairan danau dan mempengaruhi kualitas perairan danau (Iriadi, 2015). Danau atau waduk yang berada di Kota Surabaya sebagian digunakan sebagai penampung banjir saat musim hujan serta menampung aliran sungai. Akibatnya, perairan sungai yang tercemar akan mencemari perairan waduk.

Data Dinas PU Bina Marga dan Pematusan Kota Surabaya tahun 2019, terdapat 72 buah bozem/waduk di Kota Surabaya. Salah satu bozem di Surabaya yaitu Bozem Morokrembangan yang berada di wilayah Surabaya Utara yang memiliki fungsi sebagai pengendali banjir kota Surabaya atau menampung aliran sungai sebelum menuju ke laut. Kondisi Bozem Morokrembangan pada saat ini mengalami penurunan kualitas air di akibatkan menjadi tempat penampungan sampah dan air buangan yang terbawa oleh saluran – saluran drainase yang menuju ke Bozem Morokrembangan. Pada Bozem Morokrembangan bagian selatan kondisi air sangat berbau, keruh dan berwarna kehitaman. Kondisi ini disebabkan oleh pengendapan padatan yang berasal dari air limbah domestik yang berasal dari seluruh *catchment area* Bozem Morokrembangan. Di samping itu, aliran yang tidak terlalu lancar

dari bozem bagian selatan menuju ke bagian utara juga menambah parah kondisi bozem selatan saat ini. Saluran – saluran drainase yang bermuara ke Bozem Morokrempangan bagian selatan berasal dari Kali Greges dan Kali Purwodadi selain membawa aliran limbah domestik juga membawa zat padat dan zat tersuspensi yang tinggi (Hasriyani, 2010). Oleh sebab itu, Bozem Morokrempangan ditetapkan sebagai Badan air Kelas IV berdasarkan pada Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 yang tertuang dalam Peraturan Daerah (PERDA) Kota Surabaya No.02 Tahun 2004.

Pada kondisi riil di lapangan, bahwa Bozem Morokrempangan sering dimanfaatkan masyarakat sekitarnya untuk keperluan penyiraman tanaman, sebagai tempat latihan anggota militer Angkatan Laut (AL) dan beberapa wilayah bozem digunakan sebagai tempat budidaya ikan. Akan tetapi, dikarenakan adanya penurunan kualitas air Bozem Morokrempangan sehingga pada beberapa wilayah tersebut tidak lagi digunakan sebagai tempat budidaya ikan. Selain itu, pada bozem sisi utara dipenuhi oleh eceng gondok yang dapat menyebabkan berkurangnya intensitas cahaya dan oksigen terlarut dikarenakan cahaya matahari yang tertutup oleh eceng gondok serta terjadinya pendangkalan. Melihat pemanfaatan tersebut, berarti Bozem Morokrempangan tersebut termasuk dalam kelas III atau sebagai mutu air kelas III (sesuai ketentuan Peraturan Pemerintah No.82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air).

Berdasarkan data karakteristik air Bozem Morokrempangan yang diperoleh dari data Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya tahun 2019, yang mana secara berturut turut : nilai *dissolved oxygen* (DO) 2,9 mg/L, *biochemical oxygen demand* (BOD) 26,57 mg/L, *chemical oxygen demand* (COD) 62,07 mg/L, Total Fosfat sebagai P 3,3 mg/L, amonia (NH₃) sebagai N < 0,02 mg/L, dan Total Coliform 46 MPN/100 ml, menunjukkan bahwa air di Bozem Morokrempangan masih belum memenuhi baku mutu sebagai baku mutu air kelas sehingga ditetapkan sebagai kelas IV oleh Dinas Lingkungan Hidup III Kota Surabaya.

Berdasarkan pada status mutu air, penetapan kondisi cemar atau kondisi baik pada suatu sumber air dalam waktu tertentu yaitu membandingkan antara kualitas dari kondisi sumber air

dengan baku mutu air yang ditetapkan (PP No. 82 tahun 2001), bahwa Bozem Morokrempangan termasuk kondisi tercemar. Apabila dilihat besaran nilai parameter air di bozem yang belum memenuhi atau melebihi baku mutu kelas III dan didasarkan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.28 Tahun 2009, sumber daya air danau dan/atau waduk tersebut yang dalam hal ini Bozem Morokrempangan perlu dipelihara agar kualitasnya memenuhi baku mutu sesuai dengan peruntukannya serta dapat dimanfaatkan seperti pada kenyataan penggunaan air bozem oleh masyarakat sekitarnya.

Dari kualitas air Bozem Morokrempangan tersebut maka dapat diperoleh status mutu air bozem dengan menggunakan metode Indeks Pencemaran (IP). Dengan metode IP ini dapat digunakan untuk menentukan suatu tingkat pencemaran yang relatif terhadap parameter yang dianalisis. Metode ini dapat langsung menghubungkan tingkat ketercemaran dengan dapat atau tidaknya sungai dipakai untuk penggunaan tertentu dan dengan nilai parameter tertentu (Awalunikmah, 2017).

Oleh karena itu, diperlukan kajian untuk kualitas dan status mutu air terhadap upaya pengelolaan air waduk (dalam kasus ini Bozem Morokrempangan) dengan pendekatan sistem dinamik. Kajian untuk penentuan status mutu air Bozem Morokrempangan, diperlukan untuk menentukan upaya – upaya pengelolaan terhadap kualitas air Bozem Morokrempangan. Dalam melakukan upaya pengelolaan tersebut diharapkan fungsi Bozem Morokrempangan dapat dikembalikan sesuai dengan peruntukannya. Upaya pengelolaan terhadap kualitas perairan Bozem Morokrempangan ini dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam pembuatan rancangan pengelolaan sebuah kebijakan.

Menurut Sterman (2000), menyatakan bahwa pendekatan model sistem dinamik mampu mengilustrasikan karakteristik suatu sistem secara kontinyu serta membantu dalam membentuk suatu *management flight simulator*, model simulasi komputer, dan mendesain kebijakan yang lebih efektif. Berdasarkan uraian ini, maka pada upaya pengelolaan kualitas Bozem Morokrempangan yang dikaitkan dengan rancangan pengelolaan sebuah kebijakan, berarti memerlukan model simulasi komputer yaitu model sistem dinamik.

Alasan pemakaian sistem dinamik ini, diperkuat oleh pernyataan dari Pruyt (2013) yang mana dijelaskan bahwa konsep sistem dinamik bukan saja digunakan sebagai berlandaskan pada interaksi antar komponen melalui sebuah pemahaman yang menyeluruh, juga dapat digunakan sebagai suatu alternatif pendekatan dalam mengambil sebuah keputusan. Selain itu pada sistem dinamik diasumsikan juga bahwa perilaku sistem bukan saja disebabkan oleh struktur sistem itu sendiri, melainkan juga sistem dinamik merupakan sistem yang dapat menjelaskan proses akumulasi dan umpan balik dari situasi yang kompleks (Forrester, 1961).

Berdasarkan pada uraian uraian ini, maka penelitian dengan judul “Kajian Kualitas Air dan Status Mutu Air Terhadap Upaya Pengelolaan Air Waduk Dengan Pendekatan Sistem Dinamik (Studi Kasus: Bozem Morokrempangan), terpilih sebagai penyelesaian atau sebagai salah satu cara untuk menentukan kualitas dan status mutu air sehingga dapat diperoleh upaya pengelolaan kualitas air pada Bozem Morokrempangan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana kualitas dan status mutu air di Bozem Morokrempangan saat ini dengan metode IP ?
2. Bagaimana membangun sub sistem dinamik kualitas air untuk mendapatkan upaya pengelolaan untuk Bozem Morokrempangan berdasarkan pada nilai IP nya ?
3. Bagaimana penyelesaian upaya pengelolaan terhadap kualitas dan status mutu air di Bozem Morokrempangan dengan pendekatan sistem dinamik?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis kualitas dan status mutu air Bozem Morokrempangan dengan metode IP
2. Membangun sub sistem dinamik kualitas air untuk mendapatkan upaya pengelolaan di Bozem Morokrempangan berdasarkan pada nilai IPnya.
3. Menyusun upaya pengelolaan terhadap kualitas dan status mutu Bozem Morokrempangan dengan pendekatan sistem dinamik.

1.4 Manfaat Penelitian

Membantu Pemerintah kota Surabaya dalam mengembalikan fungsi Bozem Morokrengan sesuai peruntukannya dengan upaya pengelolaan kualitas dan status air

1.5 Ruang Lingkup

1. Lokasi penelitian di Bozem Morokrengan
2. Penelitian mencakup aspek teknis dan aspek kelembagaan.
 - Aspek teknis meliputi:
Kualitas air Bozem dari data primer yang diperoleh dari analisis karakteristik pencemaran yang dihitung melalui beban pencemar secara teoritis dan identifikasi parameter kualitas air yang berasal dari sumber pencemar yaitu domestik dan non-domestik, sedangkan data sekunder dari kondisi eksisting di Bozem Morokrengan diperoleh dari Dinas Kebersihan dan Ruang Terbuka Hijau (DKRTH) Kota Surabaya, Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Surabaya, dan Dinas PU Bina Marga Kota Surabaya.
Status mutu air Bozem Morokrengan diperoleh berdasarkan pada kualitas air Bozem tersebut dan selanjutnya digunakan metode IP untuk memperoleh status mutunya .
 - Aspek lingkungan meliputi:
Dampak yang ditimbulkan akibat terjadinya pencemaran yang dihasilkan oleh sub pencemar sehingga mempengaruhi kualitas perairan bozem. Aspek lingkungan dipertimbangkan dari kegiatan – kegiatan yang dapat menghasilkan limbah.
3. Data yang digunakan dalam penelitian merupakan data primer dan sekunder dari literatur dan instansi terkait.
4. Parameter Kualitas air limbah yang digunakan dalam penelitian di Bozem Morokrengan yaitu: DO, BOD,

COD, Ammonia, Total Fosfat, pH dan Suhu sesuai dengan Peraturan Pemerintah No 82 Tahun 2001.

5. Metode untuk memperoleh upaya pengelolaannya menggunakan metode sistem dinamik dengan melalui sub sistem- sub sistemnya

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gambaran Umum Wilayah Penelitian

2.1.1 Deskripsi Wilayah Penelitian

Bozem Morokrembangan merupakan salah satu waduk terluas di Kota Surabaya dengan luas 78,96 ha, terbagi atas dua bagian yaitu bagian selatan dengan luas $\pm 39,13$ ha dan utara $\pm 41,58$ ha. Bozoem Morokrembangan terletak di Kecamatan Krembangan pada bagian utara Kota Surabaya yang merupakan bagian dari wilayah Surabaya pusat. Secara geografis Bozem Morokrembangan terletak pada batasan wilayah sebagai berikut:

- Sebelah utara : Kecamatan Morokrembangan
- Sebelah timur : Kelurahan Perak Barat
- Sebelah selatan : Kelurahan Dupak
- Sebelah barat : Kabupaten Gresik



Gambar 2. 1 Wilayah Penelitian
(Sumber: <https://maps.app.goo.gl/CaMN9VaR5wc5PFaG6>)

2.1.2 Sumber Aliran Bozem Morokrembangan

Bozem Morokrembangan diperuntukan untuk menampung air hujan pada saat aliran puncak yang tidak dapat mengalir langsung ke laut karena kondisi pasang air laut. Bozem ini merupakan bagian dari sistem drainase Kota Surabaya dengan tangkapan aliran (*catchment area*) hampir mencapai 25% dari luas total Kota Surabaya. Bozem morokrembangan terbagi menjadi dua bagian yaitu, bagian sisi selatan dan bagian sisi utara. Pada bagian sisi selatan Bozem Morokrembangan menampung buangan limbah domestik yang berasal dari saluran drainase dan berakhir pada Kali Greges dan Kali Purwodadi (Slamet, 2016). Hasil buangan yang berasal dari Kali Greges mengalir menuju inlet sisi utara Bozem Morokrembangan yaitu Pintu Air Tambak Asri.

Sedangkan pada bagian sisi utara menerima aliran yang keluar dari bagian sisi selatan bozem yang dihubungkan oleh saluran yang terletak pada bagian bawah jalan Surabaya dan Gresik. Aliran Bozem Morokrembangan akan berakhir pada bagian outlet bozem yaitu Rumah Pompa Morokrembangan yang mengalir menuju laut. Kualitas air pada sisi bozem bagian utara tergantung pada kualitas air sisi bozem bagian selatan. Kualitas air sisi selatan Bozem Morokrembangan pada saat ini sangat berbau, keruh, dan berwarna kehitaman yang disebabkan oleh buangan limbah domestik pada seluruh *catchment area* sehingga menyebabkan terjadinya pengendapan. Kualitas air Bozem Morokrembangan menurut hasil uji laboratorium oleh Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya (P2KLH) tahun 2019 dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Kualitas Air Bozem Morokrembangan Tahun 2019

Parameter	Hasil Uji	Baku Mutu Air Kelas III	Satuan
DO	2,9	3	Mg/L
BOD	26,57	6	Mg/L
COD	62,07	50	Mg/L
Total Phosphat sebagai P	3,3	1	Mg/L
Amonia (NH ₃) sebagai N	<0,02	0,02	Mg/L

Sumber: Dinas Lingkungan Hidup, Juli 2019

2.2 Waduk dan Ekosistem Waduk

2.2.1 Pengertian Waduk

Waduk atau *reservoir* adalah danau alam atau danau buatan, kolam penyimpan atau pembendungan sungai yang berfungsi untuk menyimpan kelebihan air di musim penghujan dan mengalirkan air di musim kemarau saat diperlukan. Waduk dapat dimanfaatkan untuk mengairi jaringan irigasi ketika jaringan irigasi mengalami kekurangan air pada musim kemarau (Fachrurrozi, 2017)

Fungsi waduk secara prinsip adalah menampung air saat debit tinggi untuk digunakan saat debit rendah. Waduk mempunyai tugas untuk memodifikasi distribusi air menurut alam, dan menciptakan distribusi air buatan. Kelayakan pembuatan waduk ditinjau dari berbagai aspek, baik kelayakan teknik, kelayakan ekonomi maupun sosial disamping itu harus punya kelayakan lingkungan (Sudjarwadi, 2008).

Waduk digunakan untuk penyimpanan air untuk berbagai keperluan. Penggunaan yang paling umum adalah air untuk pasokan publik; produksi tenaga air; irigasi agribudaya; perikanan komersial dan rekreasi; akuakultur; navigasi; pembuangan limbah; air untuk mendinginkan limbah dari industri; pengaturan sungai; pengendalian banjir; rekreasi; olahraga air (Tundisi, 2018). Sumber daya air danau dan/atau waduk tersebut perlu dipelihara agar kualitasnya memenuhi baku mutu sesuai dengan peruntukannya. Baku mutu air danau dan/atau waduk tersebut juga digunakan sebagai bahan acuan perhitungan daya tampung beban pencemaran airnya (Permen LH No 28, 2009).

Waduk dan tangkapan airnya pada dasarnya merupakan suatu kesatuan dan interaksi antara manusia dengan sumberdaya air merupakan faktor kritis yang dapat mempengaruhi kesehatan pada sebuah waduk serta potensi pemanfaatannya. Pemanfaatan waduk yang kurang bertanggung jawab dapat menimbulkan dampak pada kualitas airnya (Forum Danau Indonesia, 2004). Waduk merupakan tempat penampungan air yang dapat menerima nutrisi, padatan, dan bahan kimia yang bersifat toksik sehingga dapat menyebabkan pengendapan pada bagian dasar waduk. Waduk juga berfungsi sebagai tempat penampungan air yang berasal dari Daerah

Tangkapan Air (DTA) dan Daerah Aliran Sungai (DAS) serta bantaran waduk yang terbawa masuk kedalam perairan waduk. Sumber pencemaran dapat disebabkan oleh limbah domestik, limbah industri, serta kegiatan masyarakat seperti pertanian, peternakan, dan kegiatan lainnya yang mempengaruhi kualitas perairan waduk.

2.2.2 Ekosistem Waduk

Proses ekosistem sebuah perairan waduk dipengaruhi oleh proses stratifikasi waduk dimana terdapat cahaya matahari yang digunakan untuk meningkatkan suhu air permukaan waduk melalui sebuah pengadukan. Pengadukan air waduk terjadi oleh bantuan angin, kapal yang berada pada waduk, atau tenaga lainnya. Akan tetapi, pengadukan ini hanya terjadi pada kedalaman yang terbatas dari air permukaan waduk (Hairston dan Fussmann, 2002).

Bagian pada permukaan air waduk yang sering terjadi proses pengadukan dan memiliki suhu hangat disebut *epilimnion*. Semakin banyak pengadukan yang terjadi menyebabkan lapisan *epilimnion* dalam kondisi aerobik. Bagian waduk yang tidak terkena sinar matahari dan merupakan bagian dasar waduk disebut *hypolimnion*. Pada lapisan ini tidak terjadi pengadukan dan memiliki suhu yang dingin. Kondisi tersebut menyebabkan oksigennya rendah dan bisa menjadi kondisi *anaerobic* atau *anoxic*. Terdapat salah satu lapisan yang berada diantara lapisan *epilimnion* dan *hypolimnion* yang disebut lapisan *metalimnion*. Lapisan ini memiliki suhu dan densitas yang dapat berubah tergantung pada kedalamannya. Zona tersebut dinamakan *termoklin*. Perubahan suhu pada zona ini lebih dari 1°C per meter kedalaman (Davis dan Masten, 2004).

Berdasarkan pada hal – hal tersebut, waduk dibagi menjadi empat daerah yaitu :

1. Daerah litoral

Daerah litoral merupakan daerah dangkan pada waduk sehingga matahari sangat mudah untuk menembus dengan optimal menyebabkan air menjadi hangat pada bagian tepi waduk. Tumbuhannya merupakan tumbuhan air berakar dan daunnya ada yang mencuat ke atas permukaan air. Komunitas organisme sangat beragam

termasuk jenis-jenis alga yang melekat (khususnya diatom), berbagai siput dan remis, serangga, crustacea, ikan, amfibi, reptilia, dan beberapa mamalia yang sering mencari makan di danau.

2. Daerah Limnetik

Daerah limnetik merupakan daerah yang keberadaannya sedikit jauh dari tepi namun masih bisa untuk ditembus matahari. Daerah ini dihuni oleh berbagai fitoplankton, termasuk ganggang dan sianobakteri. Ganggang berfotosintesis dan bereproduksi dengan kecepatan tinggi selama musim panas dan musim semi. Zooplankton yang tergolong Rotifera dan udang-udangan kecil memangsa fitoplankton.

3. Daerah Profundal

Daerah profundal merupakan daerah yang dalam atau disebut dengan daerah eufotik. Kedalaman zona eufotik ditentukan oleh penetrasi cahaya matahari. Batas kedalaman zona eufotik adalah dimana cahaya matahari yang masuk intensitasnya $> 0,5 - 1\%$ dari permukaan. Batas ini ditentukan karena *algae* dan *macrophytes* dapat beraktivitas dengan baik pada intensitas tersebut.

4. Daerah Bentik

Daerah bentik merupakan bagian dasar waduk yang terdapat sisa-sisa mikroorganisme yang mati. Organisme yang mati akan mengendap didasar waduk dan didekomposisi oleh jamur dan bakteri di zona bentik. Selain jamur dan bakteri, juga terdapat cacing, insekta air, kelompok moluska (*molluscs*), dan krustasea (*crustaceans*).

Proses ekosistem waduk/danau dipengaruhi oleh proses produktivitas waduk. Produktivitas waduk merupakan kemampuan suatu danau dalam mendukung kehidupan organisme dalam perairan waduk. Produk biomassa suatu perairan waduk bergantung pada produktivitas air waduk. Semakin tinggi suatu produktivitas waduk maka semakin tinggi produksi biomassa yang terdapat didalam waduk. Produktivitas air waduk memiliki peranan penting terhadap kualitas air waduk

(Davis dan Masten, 2004). Selain itu, produktivitas waduk mempengaruhi status trofik suatu waduk. Status trofik waduk adalah status kualitas air danau berdasarkan kadar unsur hara dan kandungan biomassa fitoplankton atau produktivitasnya. Penentuan suatu trofik air danau/waduk ditentukan berdasarkan data kualitas air dan kriteria status trofik. Kondisi kualitas air danau dan/atau waduk diklasifikasikan berdasarkan eutrofikasi yang disebabkan adanya peningkatan kadar unsur hara dalam air. Faktor pembatas sebagai penentu eutrofikasi adalah unsur Fosfor (P) dan Nitrogen (N). Pada umumnya rata-rata tumbuhan air mengandung Nitrogen dan Fosfor masing-masing 0,7% dan 0,09% dari berat basah. Fosfor membatasi eutrofikasi jika kadar Nitrogen lebih dari delapan kali kadar Fosfor, Nitrogen membatasi proses eutrofikasi jika kadarnya kurang dari delapan kali kadari Fosfor. (Permen LH No 28, 2009).

Eutrofikasi disebabkan oleh peningkatan kadar unsur hara terutama parameter Nitrogen dan Fosfor pada air danau dan/atau waduk. Eutrofikasi diklasifikasikan dalam empat kategori status trofik yaitu: (Permen LH No 28, 2009).

1. **Oligotrof** adalah status trofik air danau dan/atau waduk yang mengandung unsur hara dengan kadar rendah, status ini menunjukkan kualitas air masih bersifat alamiah belum tercemar dari sumber unsur hara Nitrogen dan Fosfor.
2. **Mesotrof** adalah status trofik air danau dan/atau waduk yang mengandung unsur hara dengan kadar sedang, status ini menunjukkan adanya peningkatan kadar Nitrogen dan Fosfor namun masih dalam batas toleransi karena belum menunjukkan adanya indikasi pencemaran air.
3. **Eutrof** adalah status trofik air danau dan/atau waduk yang mengandung unsur hara dengan kadar tinggi, status ini menunjukkan air telah tercemar oleh peningkatan kadar Nitrogen dan Fosfor.
4. **Hipereutrof/Hipertrof** adalah status trofik air danau dan/atau waduk yang mengandung unsur hara dengan kadar sangat tinggi, status ini menunjukkan air telah tercemar berat oleh peningkatan kadar Nitrogen dan Fosfor.

Berikut adalah tabel kriteria status trofik danau yang dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2. 2 Kriteria Status Trofik Danau

Status Trofik	Kadar Rata-rata Total N ($\mu\text{g/L}$)	Kadar Rata-rata Total P ($\mu\text{g/L}$)	Kadar Rata-rata Khlorofil-a ($\mu\text{g/L}$)	Kecerahan Rata – rata (m)
Oligotrof	≤ 650	< 10	< 5	≥ 10
Mesotrof	≤ 750	< 30	< 10	≥ 4
Eutrof	≤ 900	< 100	< 15	$\geq 2,5$
Hipereutrof	≤ 1900	≥ 100	≥ 200	$< 2,5$

Sumber: Peraturan Pemerintah Lingkungan Hidup No 28, 2009

2.3. Pencemaran Air Waduk

Menurut Menteri Lingkungan Hidup Tahun 2001, pencemaran air adalah masuknya atau dimasukkannya zat atau energi, komponen lain kedalam air oleh kegiatan manusia sehingga kualitas air turun sampai pada tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak berfungsi sesuai dengan peruntukannya. Pencemaran air terjadi apabila zat atau kondisi air tidak dapat digunakan untuk tujuan tertentu (Owa, 2014). Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, bahwa klasifikasi mutu air permukaan digolongkan menjadi 4 (empat) kelas berdasarkan tingkatan baiknya mutu air, klasifikasi mutu air tersebut, yaitu :

1. **Kelas Satu:** Air yang diperuntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum dan atau peruntukkan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaannya.
2. **Kelas Dua:** Air yang diperuntukannya dapat digunakan sebagai prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman dan atau peruntukkan lain yang sama dengan kegunaan tersebut.
3. **Kelas Tiga:** Air yang peruntukannya dapat digunakan sebagai pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau untuk peruntukkan lain yang sama dengan kegunaan tersebut.

4. **Kelas Empat:** Air yang peruntukannya di.]gunakan untuk mengairi pertanaman dan atau peruntukkan lain yang sama dengan kegunaan tersebut.

2.3.1 Sumber Pencemaran Waduk

Pencemaran air dapat terjadi akibat masuknya zat atau komponen lain kedalam air akibat kegiatan manusia atau faktor alam. Secara umum, sumber pencemaran air dibedakan menjadi *point source* (Sumber tertentu) dan *non – point source* (Sumber tak tentu). Sumber pencemaran yang termasuk kategori *point source* terpenting berasal dari kegiatan industri, namun jenis dan jumlah bahan pencemar yang dibuang ditentukan oleh jenis kegiatannya (Aang, 2012). Jumlah limbah yang dibuang dapat ditentukan dengan berbagai cara, antara lain dengan pengukuran langsung, penghitungan neraca massa, dan estimasi lainnya. Data pencemaran air dari sumber tertentu biasanya diperoleh dari informasi yang dikumpulkan dan dihasilkan pada tingkat kegiatan melalui pengukuran langsung dari efluen dan perpindahannya, atau melalui penggunaan metoda untuk memperkirakan atau menghitung besar pencemaran air.

Sumber pencemar *non – point source* merupakan sumber – sumber pencemar air yang tidak dapat ditentukan lokasinya secara tepat karena berasal dari sumber – sumber aliran yang relative kecil. Limbah yang dihasilkan dari sumber pencemar tak tentu antara lain kegiatan pertanian, pemukiman, dan transportasi. Penentuan jumlah limbah yang dibuang tidak dapat ditentukan secara langsung, melainkan dengan menggunakan data statistik kegiatan yang menggambarkan aktivitas penghasil limbah (Permen LH No 01, 2010).

2.3.2. Parameter Pencemaran Waduk

- **Pengaruh *Dissolved Oxygen* (DO) Terhadap Perubahan Kualitas Perairan**

Oksigen terlarut merupakan elemen penting dalam sistem kehidupan di perairan, karena berperan pada proses kimia dan biologis ekosistem (Xu dan Xu, 2016). Oksigen terlarut dalam waduk berasal dari udara dan fotosintesis organisme yang hidup di waduk. Pergantian oksigen dari udara berjalan lambat (Syadzadhiya, 2019). Oksigen terlarut

dalam perairan berfluktuasi sepanjang waktu sesuai dengan pemasukan dan pemanfaatannya oleh organisme dan dekomposisi mikroorganisme (Wetzel, 2001). Menurut Vigil (2003), kepekatan oksigen terlarut dalam air bergantung kepada suhu, kehadiran tanaman fotosintesis, tingkat penetrasi cahaya, tingkat kederasan aliran air, dan jumlah bahan organik yang diuraikan air. Kandungan oksigen terlarut pada badan air bervariasi terhadap waktu dan dipengaruhi oleh berbagai faktor fisik, biologis, dan kimia seperti pH, temperatur, tekanan atmosfer, dan salinitas (Mwegoha *et al.*, 2010).

Konsentrasi oksigen terlarut (DO) yang rendah dalam air tawar merupakan perhatian global yang berkaitan dengan pertumbuhan alga dan pembusukan karena masuknya nutrisi yang berlebihan (terutama nitrogen (N) dan fosfor (P)). Kurangnya oksigen dapat memiliki efek negatif pada ikan dan biota danau lainnya termasuk berkurangnya tingkat respirasi, berkurangnya aktivitas reproduksi, perubahan paksa pada lokasi habitat, dan pada akhirnya mengurangi ukuran populasi habitat (Crossman *et al.*, 2019). Oksigen terlarut pada perairan dipengaruhi oleh proses fotosintesis dan proses difusi yang berasal dari udara bebas. Oksigen yang masuk ke perairan kolam (Waduk maupun danau) berkisar 90 – 95% melalui proses fotosintesis dan kemudian oleh difusi dari udara. Adanya aliran masuk (*inflow*) juga merupakan salah satu sumber oksigen terlarut dalam perairan (Wetzel, 2001).

Keberadaan *dissolved oxygen* (oksigen terlarut) sangat berpengaruh terhadap beban pencemar di perairan. Jika ketersediaan oksigen terlarut tinggi di perairan maka dapat mendukung proses self purifikasi (Maghfiroh, 2016). Hal lain yang menyebabkan rendahnya kadar oksigen terlarut yaitu seiring dengan bertambahnya kedalaman. Kedalaman mempengaruhi jumlah intensitas cahaya yang masuk kedalam perairan sehingga menyebabkan proses fotosintesis biota menurun. Terjadinya proses fotosintesis dalam suatu perairan pada kedalaman tertentu mengindikasikan banyaknya kandungan oksigen di lokasi tersebut (Simanjuntak, 2008). Penyebaran oksigen dalam perairan

dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu suhu, angin, arus, morfologi, masukan *allochthonous* dari sungai induk, dan respirasi (Widyastuti dkk, 2004). Penyebaran oksigen terlarut dalam perairan dipengaruhi oleh suhu, salinitas (jika di laut), aktivitas biologi, arus, serta proses pencampuran yang dapat mengubah pengaruh-pengaruh dari kegiatan biologis melalui gerakan massa air dan proses difusi (Iriadi, 2015).

- **Kebutuhan Oksigen Biokimia (BOD) Dalam Perairan**

BOD atau *Biochemical Oxygen Demand* adalah suatu karakteristik yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme (biasanya bakteri) untuk mengurai atau mendekomposisi bahan organik dalam kondisi aerobik (Umayal dan Cuvin, 1988; Metcalf & Eddy, 1991). Ditegaskan lagi oleh Boyd (1990), bahwa bahan organik yang terdekomposisi dalam BOD adalah bahan organik yang siap terdekomposisi (*readily decomposable organic matter*). Mays (1996), mengartikan BOD sebagai suatu ukuran jumlah oksigen yang digunakan oleh populasi mikroba yang terkandung dalam perairan sebagai respon terhadap masuknya bahan organik yang dapat diurai.

BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh organisme hidup untuk memecah atau mengoksidasi bahan-bahan buangan di dalam air. Jadi, nilai BOD tidak menunjukkan jumlah bahan organik yang sebenarnya, tetapi hanya mengukur secara relatif jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan-bahan buangan tersebut. Jika konsumsi oksigen tinggi yang ditunjukkan dengan semakin kecilnya sisa oksigen terlarut, maka berarti kandungan bahan-bahan buangan yang membutuhkan oksigen tinggi (Alam Ywa dkk, 2016). BOD digunakan sebagai ukuran kotor dari potensi tuntutan oksigen tembusan (Babu *et al.*, 2006). BOD merupakan sebuah petunjuk dalam menentukan tingkat pencemaran sebuah perairan, dengan semakin meningkatnya BOD pada suatu perairan maka pada perairan tersebut mengandung banyak bahan organik yang perlu diuraikan oleh mikroorganisme.

- **Kebutuhan Oksigen Kimia (COD) Dalam Perairan**

COD atau *Chemical Oxygen Demand* adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai seluruh bahan organik yang terkandung dalam air (Santoso, 2018). Peningkatan nilai COD mengindikasikan banyaknya senyawa kimiawi yang ada di dalam perairan dan sebaliknya penurunan nilai COD mengindikasikan rendahnya senyawa kimiawi yang ada di dalam perairan. COD menggambarkan jumlah oksigen kimiawi yang dibutuhkan untuk menguraikan materi organik menjadi CO_2 dan H_2O . Untuk dapat menghasilkan produk – produk kimiawi seperti minyak dan buangan senyawa kimia lainnya yang sangat sulit untuk diuraikan oleh mikroorganisme. Oleh sebab itu, disamping mengukur BOD dibutuhkan pengukuran terhadap jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk proses oksidasi kimia. Dengan mengukur nilai COD diperoleh nilai yang menyatakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk proses oksidasi terhadap total senyawa organik baik yang mudah diuraikan secara biologis maupun terhadap senyawa yang sukar/tidak bisa diuraikan secara biologis (Barus, 2004).

COD menunjukkan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk melakukan reaksi kimia dalam air. Besarnya nilai COD menunjukkan besarnya pencemaran oleh limbah, sehingga semakin besar kebutuhan oksigen kimiawi untuk mengoksidasi limbah buangan. Nilai COD akan bertambah seiring bertambahnya kedalaman. Hal ini menunjukkan bahwa banyak limbah yang terkonsentrasi di dasar akibat adanya sedimentasi, baik itu limbah domestik maupun limbah hasil pelapukan vegetasi yang dapat dioksidasi secara kimiawi, sehingga kebutuhan oksigen untuk reaksi kimia akan meningkat (Widyana, 2013).

- **Pengaruh Amonia (NH_3) Terhadap Pertumbuhan Fitoplankton di Perairan**

Amonia (NH_3) sebagai salah satu sumber utama nitrogen di perairan bersifat mudah terlarut dalam air. Amonia dapat berasal dari limbah organisme air (Nevers dan Whitman, 2002). Sumber lainnya berasal dari reduksi gas nitrogen yang

berasal dari proses defusi udara atmosfer, limbah industri dan domestik. Amonia dapat terserap kedalam bahan-bahan tersuspensi dan koloid sehingga mengendap di dasar perairan. Amonia yang terukur di perairan berupa amonium total (NH_3 dan NH_4^+). Persentase amonia bebas akan meningkat apabila pH dan suhu perairan meningkat. Pada pH 7 atau kurang, sebagian besar amonia akan mengalami ionisasi. Sebaliknya pada pH lebih besar dari 7, amonia yang tak terionisasi terdapat dalam jumlah yang banyak dan bersifat toksik (Iriadi, 2015). Meningkatnya senyawa ammonia pada suatu perairan akan menyebabkan kepadatan fitoplankton yang dapat mengakibatkan ledakan populasi *blooming* yang diikuti dengan kematian masal (*die off*) fitoplankton. Peristiwa ledakan fitoplankton dan kematian masal akan memperburuk kualitas air suatu perairan.

- **Pengaruh Kandungan *Phosfat* Terhadap Kualitas Perairan**

Phosfat adalah bentuk fosfor yang dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan dan merupakan unsur esensial bagi tumbuhan tingkat tinggi dan alga sehingga dapat mempengaruhi tingkat produktivitas perairan (Bahri, 2006). Di perairan unsur fosfor diperlukan untuk proses biologis (Nevers dan Whitman, 2002). Fosfor tidak ditemukan dalam bentuk bebas sebagai elemen melainkan dalam bentuk senyawa anorganik yang terlarut (ortofosfat dan polifosfat) dan senyawa organik yang partikulat (Effendi, 2003). Fosfor berasal dari batuan, tanah, buangan hewan dan pelapukan tumbuhan, meskipun berlimpah di bumi, biasanya merupakan nutrisi pembatas dalam sistem danau (Nevers & Whitman, 2002). Sebagai limbah antropogenik, fosfor berasal dari limbah domestik, industri dan pertanian. Fosfor banyak terdapat dalam pupuk, sabun, deterjen, bahan industri keramik, minyak pelumas.

Fosfat merupakan senyawa yang sangat penting bagi kehidupan organisme. Fosfat antara lain berfungsi dalam sistem genetis dan sebagai penyimpan dan transfer energi dalam sel. Secara alami ketersediaan fosfat tidak banyak di kulit bumi. Namun demikian banyak aktifitas manusia yang

menghasilkan fosfat dan dibuang ke lingkungan sebagai limbah. Limbah yang mengandung fosfat dapat masuk ke perairan danau melalui aliran sungai (Nugroho dkk, 2014). Perairan yang mengandung banyak fosfor dapat mengakibatkan terjadinya proses eutrofikasi.

2.3.3. Beban Pencemaran Air Waduk

Beban pencemaran merupakan jumlah suatu unsur pencemar yang terkandung dalam air atau air limbah. Analisis perhitungan beban pencemaran bertujuan untuk mengarahui serta mengidentifikasi jenis pencemar dan besarnya konsentrasi pencemar yang masuk ke dalam waduk. Perhitungan beban pencemar air waduk menggunakan rumus berikut :

$$BP = Q \times C$$

Dengan:

$$Q = A \times V$$

Dimana

BP = Beban Pencemar (ton/tahun)

Q = Debit (m³/detik)

C = Konsentrasi Limbah (mg/L)

A = Luas Penampang Saluran (m²)

V = Kecepatan Aliran (m/detik)

Perhitungan terhadap beban pencemar yang berasal dari pemukiman dapat dilakukan dengan perhitungan pendugaan yaitu mengalikkan antara jumlah penduduk dengan komposisi beban pencemaran yang dihasilkan. Sedangkan, untuk beban pencemaran yang berasal dari industri dapat dilakukan menggunakan metode perhitungan beban pencemaran pemukiman dengan mempertimbangkan faktor emisi serta jumlah industri disekitar wilayah Daerah Aliran Danau (DAD). Komposisi beban pencemara limbah dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut.

Tabel 2. 3 Komposisi Beban Pencemaran

Parameter	Satuan	Beban Pencemaran
COD	g/orang/hari	25
BOD	g/orang/hari	57
NH ₃ -N	g/orang/hari	11,1
Total phosfat	g/orang/hari	1,1

Sumber: Salim (2002)

2.4. Indeks Pencemaran (IP)

Pengelolaan kualitas air diatur dalam Peraturan Pemerintah No 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air yang digunakan untuk menentukan status mutu air suatu badan air. Status mutu air merupakan suatu perbandingan tingkat kondisi mutu air yang menunjukkan tingkat pencemaran suatu badan air baik tercemar ringan maupun tercemar sedang atau berat sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan. Sesuai dengan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No 115 Tahun 2003, salah satu metode Indeks Kualitas Air (IKA) yang sering digunakan di Indonesia yaitu metode Indeks Pencemaran (IP).

Indeks Pencemaran (IP) digunakan untuk menentukan tingkat pencemaran relatif terhadap parameter kualitas air yang diizinkan. Pengelolaan kualitas air atas dasar Indeks Pencemaran (IP) ini dapat memberi masukan pada pengambil keputusan agar dapat menilai kualitas badan air untuk suatu peruntukan serta melakukan tindakan untuk memperbaiki kualitas jika terjadi penurunan kualitas akibat kehadiran senyawa pencemaran.

Kualitas air merupakan tingkat kondisi cemar atau kondisi baik pada suatu sumber air dalam waktu tertentu dengan membandingkan kualitas air eksisting dengan baku mutu air yang ditetapkan (Kepmen LH No 115 Tahun, 2003). Indeks kualitas air adalah mekanisme matematis untuk menghitung data kualitas air menjadi istilah sederhana misalnya *Excelent*, *good*, dan *bad*. Ini mencerminkan tingkat kualitas air di sungai dan danau (Al-Shujairi, 2013).

Metode IP dapat digunakan untuk menilai kualitas suatu badan air sesuai dengan ketentuan peruntukannya. Penentuan nilai IP dari resultan pada nilai maksimum dan nilai rerata rasio konsentrasi setiap parameter sesuai dengan baku mutunya. Sebagai metode berbasis indeks, metode IP dibangun berdasarkan dua indeks kualitas. Yang pertama, adalah indeks rata-rata (IR). Indeks ini menunjukkan tingkat pencemaran rata-rata dari seluruh parameter dalam satu kali pengamatan. Yang kedua, adalah indeks maksimum (IM). Indeks ini menunjukkan satu jenis parameter yang dominan menyebabkan penurunan kualitas air pada satu kali pengamatan (Marganingrum, 2013).

Pencemaran rata-rata dari seluruh parameter dalam satu kali pengamatan. Yang kedua adalah indeks maksimum (IM). Indeks ini menunjukkan satu jenis parameter yang dominan menyebabkan penurunan kualitas air pada satu kali pengamatan (Marganingrum, 2013). Perhitungan nilai Indeks Pencemaran (IP) digunakan rumus:

$$PI_j = \sqrt{\frac{\left(\frac{Ci}{Lij}\right)_M^2 + \left(\frac{Ci}{Lij}\right)_R^2}{2}}$$

Dimana:

- IP_j : Indeks Pencemaran bagi peruntukan j
- C_i : Konsentrasi hasil uji parameter
- L_{ij} : Konsentrasi parameter sesuai baku mutu peruntukan air j
- (C_i/L_{ij})_M : Nilai C_i/L_{ij} maksimum
- (C_i/L_{ij})_R : Nilai C_i/L_{ij} rata rata

Kategori status mutu air berdasarkan perhitungan *Indeks Pollution* (IP) dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Kategori Status Mutu Air Metode IP

Skor IP	Deskripsi
0 - 1,0	Kondisi Baik
1,1 – 1,5	Cemar Ringan
5,1 – 10	Cemar Sedang
>10	Cemar Berat

Sumber: KepmenLH NO.115 Tahun 2003

Menentukan harga P_{ij} dapat ditentukan menggunakan cara berikut:

- Jika nilai parameter mengalami penurunan dan menyatakan tingkat pencemaran meningkat maka nilai C_i/L_{ij} pengukuran diganti dengan C_i/L_{ij} penrhitungan, seperti :

$$(C_i/L_{ij})_{baru} = \frac{C_{im} - C_i \text{ (hasil pengukuran)}}{C_{im} - C_i} \dots\dots(2.1)$$

- Jika nilai baku mutu (L_{ij}) memiliki rentang, maka :
Untuk $C_i \leq L_{ij}$ rata-rata

$$(C_i/L_{ij})_{\text{baru}} = \frac{C_i - L_{ij}(\text{rata-rata})}{L_{ij}(\text{minimum}) - L_{ij}(\text{rata-rata})} \dots (2.2)$$

Untuk $C_i > L_{ij}$ rata-rata

$$(C_i/L_{ij})_{\text{baru}} = \frac{C_i - L_{ij}(\text{rata-rata})}{L_{ij}(\text{maksimum}) - L_{ij}(\text{rata-rata})} \dots (2.3)$$

- Kemungkinan munculnya kerugian jika dua nilai (C_i/L_{ij}) berdekatan dengan nilai acuan 1,0, misal $C_1/L_{1j} = 0,9$ dan $C_2/L_{2j} = 1,1$ atau perbedaan yang sangat besar, misal $C_3/L_{3j} = 5,0$ dan $C_4/L_{4j} = 10,0$. Pada contoh ini tingkat kerusakan badan air sangat sulit untuk ditentukan. Sehingga, cara untuk mengatasi kesulitan tersebut sebagai berikut :
 - a. Penggunaan nilai (C_i/L_{ij}) hasil pengukuran apabila nilai tersebut < 1
 - b. Penggunaan nilai (C_i/L_{ij}) apabila nilai (C_i/L_{ij}) hasil pengukuran > 1 dengan nilai perhitungan (C_i/L_{ij})
baru menggunakan persamaan 2.4. berikut :

$$(C_i/L_{ij}) = 1 + P \log (C_i/L_{ij}) \text{ Hasil Pengukuran } \dots (2.4)$$

P merupakan konstanta dan nilainya ditentukan dengan bebas dan disesuaikan dengan hasil pengamatan lingkungan dan atau persyaratan yang dikehendaki untuk suatu peruntukan (digunakan nilai 5).

Penggunaan metode Indeks Pencemaran (IP) dapat digunakan untuk pengelolaan kualitas air terhadap pengambilan keputusan agar dapat melakukan tindakan untuk memperbaiki kualitas air apabila mengalami penurunan kualitas akibat beban pencemaran yang masuk ke badan air (Romdania dkk, 2018).

2.5. Sistem Dinamis

Sistem Dinamis ditemukan oleh Jay Forrester pada tahun 1958. Pada awalnya dikenal sebagai *Industrial Dynamic* yang dikembangkan sebagai simulasi sebagai rantai pasokan (Dangerfield, 2014). Sistem dinamik adalah suatu metode analisis permasalahan dimana waktu merupakan salah satu faktor penting, dan meliputi pemahaman bagaimana suatu sistem dapat dipertahankan dari gangguan di luar sistem, atau dibuat sesuai dengan tujuan dari pemodelan sistem yang akan dibuat (Firmansyah, 2017). Sistem dinamis merupakan sistem yang dapat menjelaskan proses akumulasi dan umpan balik dari situasi yang kompleks. Elemen penting dari sistem dinamis yaitu *stock*, *level*, *time delays*, positif dan *negative feedback loops*, serta *cause and effects*. Pendekatan model sistem dinamis terdiri dari (Kunc, 2016):

1. Menjelaskan masalah secara dinamis, dalam hubungan grafik terhadap waktu
2. Melihat perilaku sistem yang penting, fokus ke dalam karakteristik dari sistem tersebut
3. Memikirkan keseluruhan konsep pada sistem nyata sebagai kuantitas kontinyu yang saling berhubungan dalam *loops of information feedback and circular causality*
4. Mengidentifikasi *stock* pada sistem

Sistem dinamis terdiri dari beberapa elemen. Hubungan dan perilaku elemen – elemen tersebut membentuk struktur model. Semua elemen penting yang mempengaruhi bagian lain dari sistem dan juga dipengaruhi secara signifikan oleh elemen sistem dimodelkan sebagai variabel endogen. Sedangkan semua elemen yang berdampak serius tetapi yang tidak terlalu dipengaruhi oleh sistem menjadi variabel eksogen, dan semua elemen lain dihilangkan. Variabel endogen dan eksogen membentuk hubungan yang menggambarkan perilaku model (Pruyt, 2013).

Hubungan variabel dan parameter dalam model sistem dinamis hanya memiliki hubungan sebab akibat langsung. Untuk membangun model sistem dinamis seseorang perlu melihat, mengidentifikasi dan memahami hubungan sebab akibat langsung dalam model tersebut. Oleh karena

itu, sistem dinamis dapat digunakan untuk menyelidiki interaksi antara struktur dan perilaku kompleks yang dinamis dari suatu masalah. Kemudian dari hasil pengamatan dapat dikembangkan skenario dalam mencapai tujuan yang diinginkan (Pruyt, 2013).

2.5.1. Causal Loop Diagram (CLD)

Causal Loop Diagram merupakan langkah awal dalam menyusun sebuah sistem dinamis karena memiliki dua alasan. Pertama, dalam menggambar diagram ini cukup sederhana, *Causal Loop Diagram* terdiri dari beberapa variabel yang saling berhubungan, baik secara negatif atau, positif, membantuk putaran umpan balik. Kedua, *Causal Loop Diagram* mampu memberikan gambaran serta pemahaman dengan mudah terhadap topic yang akan dipelajari atau diteliti (Kunc, 2016).

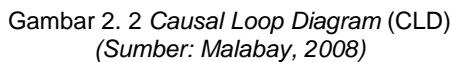
Model CLD adalah model yang banyak digunakan dalam pemecahan masalah dengan pendekatan sistem yang mempertimbangkan kompleksitas dinamis dari sistem atau untuk mendukung pendekatan sistem dinamik. Model CLD menekankan perhatiannya kepada hubungan sebab-akibat antar komponen sistem yang digambarkan dalam suatu diagram berupa garis lengkung yang berujung tanda panah yang menghubungkan antara komponen sistem yang satu dengan lainnya (Malabay, 2008). Suatu struktur model harus dibentuk karena adanya hubungan sebab akibat (Hubungan Kausal). Struktur umpan balik merupakan suatu model yang disusun berdasarkan lingkaran yang tertutup dan saling berkesinambungan. Rancangan *causal-loop* diagram (CLD) biasanya digunakan dalam system thinking (berpikir sistemik) untuk mengilustrasikan hubungan *cause-effect* (sebab-akibat). Hubungan *feedback* (umpan-balik) bisa menghasilkan perilaku yang bervariasi dalam sistem nyata dan dalam simulasi sistem nyata.

Aturan untuk menggambar *causal loops diagram* sangat sederhana. Pruyt (2013), menjelaskan di setiap hubungan dua variabel, variabel di bagian belakang panah dikatakan menyebabkan perubahan dalam perilaku variabel yang ditunjukkan oleh panah. Jenis perubahan digambarkan

menggunakan tanda '+' atau '-'. Tanda '+' berarti dua variabel yang saling terhubung berubah ke arah yang sama, dan '-' berarti dua variabel berubah ke arah yang berlawanan. Hubungan antara dua variabel A dan B digambarkan positif jika peningkatan variabel A menyebabkan B meningkat serta penurunan variabel A menyebabkan B menurun (Syadzadhiya, 2019). Hubungan antara dua variabel A dan B digambarkan negatif jika peningkatan variabel A menyebabkan B menurun serta penurunan variabel A menyebabkan B meningkat.

Pendekatan melalui model CLD mempunyai beberapa keuntungan antara lain (Malabay, 2008).:

- Mendorong untuk dapat melihat permasalahan secara menyeluruh, baik dari segi cakupan dan waktu sehingga dapat mencegah pemikiran yang sempit.
- Gambaran rantai hubungan sebab-akibat membuat lebih eksplisit dan dasar pemikiran akan lebih baik.
- Memungkinkan efektifitas komunikasi dapat berjalan dan perwujudan kerja sama tim akan lebih baik.
- Membantu mengeksplorasi alternatif kebijakan dan keputusan sehingga konsekwensinya dapat diantisipasi lebih awal.
- Memungkinkan keberadaan posisi yang baik untuk mengambil keputusan.



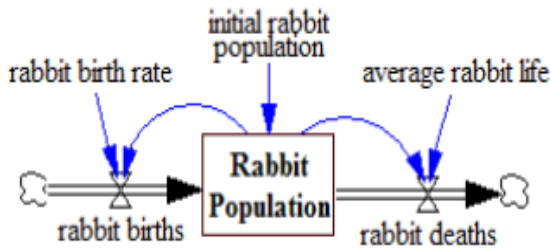
Stock dan flow beserta umpan balik merupakan elemen penting dalam teori sistem dinamis. Dalam membuat sebuah aktivitas lingkaran umpan balik yang representasi, menggunakan dua jenis utama yaitu stok dan aliran (*level and rate* atau dikenal juga dengan *stock and flow*). *Stock* menyatakan keadaan pada setiap saat. Dalam sebuah kerekayasaan, *stock* lebih dikenal sebagai *state variable system*. *Stock* merupakan akumulasi dari variabel sistem. (Stermann, 2000). Elemen lain yang dapat digunakan untuk melengkapi variabel *stock* dan aliran dalam memodelkan sebuah sistem dinamik dapat dikenal sebagai variabel lain berupa *auxiliary*, Konstanta (*Constant*) dan tundaan (*delay*). Diagram *stock flow* merupakan diagram sirkulasi yang membantu menggambarkan interaksi kompleks dari banyak faktor (Li et al., 2014). Model sistem dinamik dibangun dengan beberapa elemen penting seperti *stock*, *variavel flow*, konektor, dan *converter*.

26

variabel *stock* dan mewakili kegiatan yang mengisi atau mengurangi *stock*. Konverter diwakili oleh lingkaran adalah variabel antara yang digunakan untuk perhitungan hal lain yang mempengaruhi variabel *flow*. Konektor yang diwakili oleh panah sederhana adalah link informasi yang mewakili penyebab dalam struktur model (Chaerul *et al.*, 2008). Selain itu, ada juga simbol awan yang digunakan sebagai sumber atau saluran dari sebuah variabel *flow* yang berada di luar batas model (Zhao *et al.*, 2011).

Stok menggolongkan keadaan sistem dan memberi informasi pada keputusan dan tindakan. Stok memberi sistem kekuatan untuk bergerak dan melengkapinya dengan memori. Stok menciptakan penundaan dan mengakumulasi perbedaan antara aliran masuk menuju proses dan aliran keluarnya. Dengan memisahkan tingkat aliran, stok merupakan sumber ketidakseimbangan dalam sistem (Rahman, 2012). Stok disimbolkan dengan persegi empat sedangkan aliran masuk disimbolkan dengan tanda panah yang mengarah pada stok yang berarti ada penambahan stok. Aliran keluar disimbolkan dengan pipa yang mengarah pada stok yang berarti adanya pengurangan stok.

Katup pada sistem dinamis merupakan pengendali aliran. Awan sebagai sumber dan penampungan aliran. Sumber menggambarkan darimana stok berasal dan dimana aliran yang semula berada diluar batasan model muncul. Sementara, penampungan menggambarkan kemana aliran stok yang meninggalkan batasan model keluar. Sumber dan penampungan memiliki kapasitas tidak terhingga dan tidak pernah dapat membatasi aliran (Rahman, 2012). Misalnya, populasi kelinci dapat dianggap sebagai *stock*. *Stock* meningkat karena arus masuk, yaitu kelahiran bayi kelinci, dan *stock* menurun karena arus keluar, akibat kelinci yang mati. Dalam hal notasi, *stock* direpresentasikan sebagai persegi panjang, yang menunjukkan akumulasi, dan *flow* adalah pipa yang menunjuk ke dalam atau keluar dari *stock* (Stermen, 2000). Berikut disajikan contoh gambar stok dan aliran populasi kelinci pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Stock dan flow
(Sumber: Sterman, 2000)

2.6. Stella 9.1.3

System Thinking Educational Learning Laboratory with Animation (Stella) adalah modeling sistem dinamik pertama yang dikenal secara luas karena memiliki ikonografi yang mudah digunakan untuk memfasilitasi Pembentukan simulasi sistem dinamik dan mempunyai komponen intuitif merakit untuk simulasi proses dinamik (Kolikkathara *et al.*, 2010). Stella merupakan salah satu perangkat lunak (*software*) yang digunakan untuk membuat sebuah simulasi sistem dinamik yang dikembangkan oleh Koorporasi “*High Performance System*”. Penerapan aplikasi ini menggunakan prinsip model dinamik dengan berorientasi pada objek.

Kegunaan dalam menggunakan aplikasi stella yaitu mampu membantu dalam mempelajari suatu sistem dinamis tanpa menulis ribuan garis kode. Stella dapat mampu membangun kerangka berfikir dengan kesepahaman dan dapat menghasilkan pengertian yang mendalam pada konsep dasar. Aplikasi stella merupakan salah satu perangkat lunak yang digunakan untuk permodelan berbasis *flow-chart*. Stella merupakan bahasa pemrograman interpreter dengan pendekatan lingkungan *multi-level hierarkis*, baik untuk menyusun model maupun berinteraksi dengan model. Dalam penyusunan model menggunakan stella, terdapat empat elemen penting yaitu:

1. **Stocks**, merupakan sebuah hasil akumulasi yang berfungsi untuk menyimpan sebuah nilai parameter yang masuk kedalamnya.
2. **Flows**, berfungsi sebagai aliran untuk menambah dan mengurangi *stocks*, arah anak panah menunjukkan arah aliran tersebut.
3. **Converters**, memiliki fungsi yang luas, digunakan untuk menyimpan konstanta, input bagi suatu persamaan, melakukan kalkulasi dan input lainnya atau menyimpan data dalam bentuk grafis (tabelasi x dan y), secara umum fungsinya adalah untuk mengubah suatu input menjadi output.
4. **Connectors**, berfungsi menghubungkan elemen – elemen dari suatu model.

2.7 Penelitian Terdahulu

Berikut disajikan daftar penelitian terdahulu yang dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Daftar Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul	Hasil
1.	Syadzadhiya Qothrunada Zakiyayasin Nisa (2019).	Penyusunan Strategi Pengendalian Kualitas Air Waduk dengan Pendekatan Sistem Dinamis	Strategi pengendalian kualitas air Waduk Sutami antara lain pemasangan <i>double net</i> pada KJA, pembangunan instalasi pengolahan air Limbah (IPAL) komunal di pemukiman sebelum masuk ke perairan, serta mengikutsertakan Dinas Lingkungan Hidup, Dinas Perikanan, BBWS Brantas, dan Kelompok petani ikan KJA dalam program pengendalian kualitas air Waduk Sutami.
2.	Abdur Rahman, Sri Nurhayati, Mahdiah, M. Ryan Hidayat (2018)	Status Mutu Kualitas Air Waduk Takisung Desa Benua Tengah Kabupaten Tanah Laut Provinsi Kabupaten Selatan	Hasil penelitian diperoleh hasil pengukuran kualitas air di Waduk Takisung untuk parameter DO sebesar 7,0 Mg/l, suhu sebesar 31,9°C, pH sebesar 5,0, Fosfat sebesar 0,27 mg/l, dan Nitrat sebesar 0,2 mg/l. Berdasarkan perhitungan status mutu air metode Storet, waduk Takisung 1 dan 2 tergolong tercemar ringan.

No	Peneliti	Judul	Hasil
3.	Hanief W.Kurnianto, Endang Widyastuti, dan Ismangil (2014)	Kajian Kualitas Air dan Penentuan Status Mutu Air Rawa Bendungan Cilacap	Nilai indeks keanekaragaman menunjukkan bahwa kestabilan komunitas fitoplankton di perairan budidaya ikan Rawa Bendungan termasuk dalam kategori sedang.
4.	Agus Slamet (2016)	Peningkatan Fungsi Bozem Morokrengan Sebagai Pengolah Air Limbah Perkotaan Menggunakan Sistem Alga – Bakteri	Air Bozem Morokrengan masih memenuhi persyaratan untuk perkembangbiakkan sistem alga – bakteri. Rasio BOD_5/COD , N/P , $N-NH_3^+/P-PO_4^-$ masih layak dan memenuhi persyaratan pertumbuhan alga kondisi <i>eutrophic</i> .
5.	Ridwan Iriadi (2015)	Model Pengendalian Pencemaran Perairan Danau Laut Tawar di Kabupaten Aceh Tengah	Simulasi selama 30 tahun periode 2013 – 2043, secara stabil sumbangan fosfor tertinggi dari KJA. Skenario yang paling tepat dan realistik untuk dilaksanakan adalah skenario moderat dengan penurunan beban pencemaran sebesar 27,64%.
6.	Auldry F Walukow (2011)	Dampak Pertumbuhan Penduduk Terhadap Beban Sumber Pencemar di Danau Sentani Dengan Model Sistem Dinamik Berwawasan Lingkungan	Erosi lahan DAS Sentani di permukiman sebesar 99,975 ton/tahun meningkat setiap tahun. Upaya pengurangan total sumber pencemar yang lebih besar adalah melalui intervensi fungsional dengan cara penurunan fraksi pertumbuhan penduduk.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Bozem Morokrempangan yang secara administrasi berada di Kecamatan Krembangan, Kota Surabaya, Jawa Timur. Secara geografis Bozem Morokrempangan merupakan bozem yang melintasi perbatasan antara Surabaya dan Gresik. Bozem ini terbagi menjadi dua bagian yaitu pada bagian selatan dan bagian utara yang dihubungkan oleh aliran pada bagian bawah jembatan Surabaya dan Gresik. Penelitian ini dilaksanakan selama tiga bulan mulai Februari s/d April 2020.

3.2 Kerangka Penelitian

Keseluruhan rangkaian kegiatan penelitian ini dilakukan secara berurutan serta disajikan dalam bentuk bagan dalam Gambar 3.1.

3.3 Bahan dan Alat Penelitian

3.3.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu merupakan data kualitas air perairan Bozem Morokrempangan yaitu data DO, BOD, COD, Ammonia, dan Fosfat, suhu air, debit air, pH, data kependudukan dan data jumlah industri.

3.3.2 Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah *software* Stella versi 9.1.3.

3.4 Metode Pengumpulan Data

3.4.1. Data Primer

Pengumpulan data primer diawali dengan kegiatan survey lapangan untuk mengetahui kondisi lingkungan serta aspek – aspek penting yang terkait dengan wilayah penelitian. Survey lapangan juga membantu dalam menentukan titik atau lokasi untuk pengambilan sampel yang akan di uji berdasarkan pada *point source* dan *nonpoint source* sehingga dapat memperoleh hasil yang maksimal. Pengumpulan data primer pada titik pengambilan sampel guna untuk memperoleh data kualitas air Bozem Morokrembangan berdasarkan pada kondisi eksistingnya. Pengambilan sampel sebanyak 8 (delapan) titik lokasi dengan 3 (tiga) lokasi sebagai inlet Bozem Morokrembangan yang terletak pada bagian selatan bozem. Analisis parameter dilakukan secara langsung pada lokasi pengambilan sampel dan dilakukan di laboratorium. Parameter kualitas air meliputi, DO, pH, dan Suhu dianalisis secara langsung (*In Situ*), sedangkan parameter BOD, COD, ammonia, dan Total phosfat dianalisis di Laboratorium Pemulihan Air, Teknik Lingkungan, ITS.

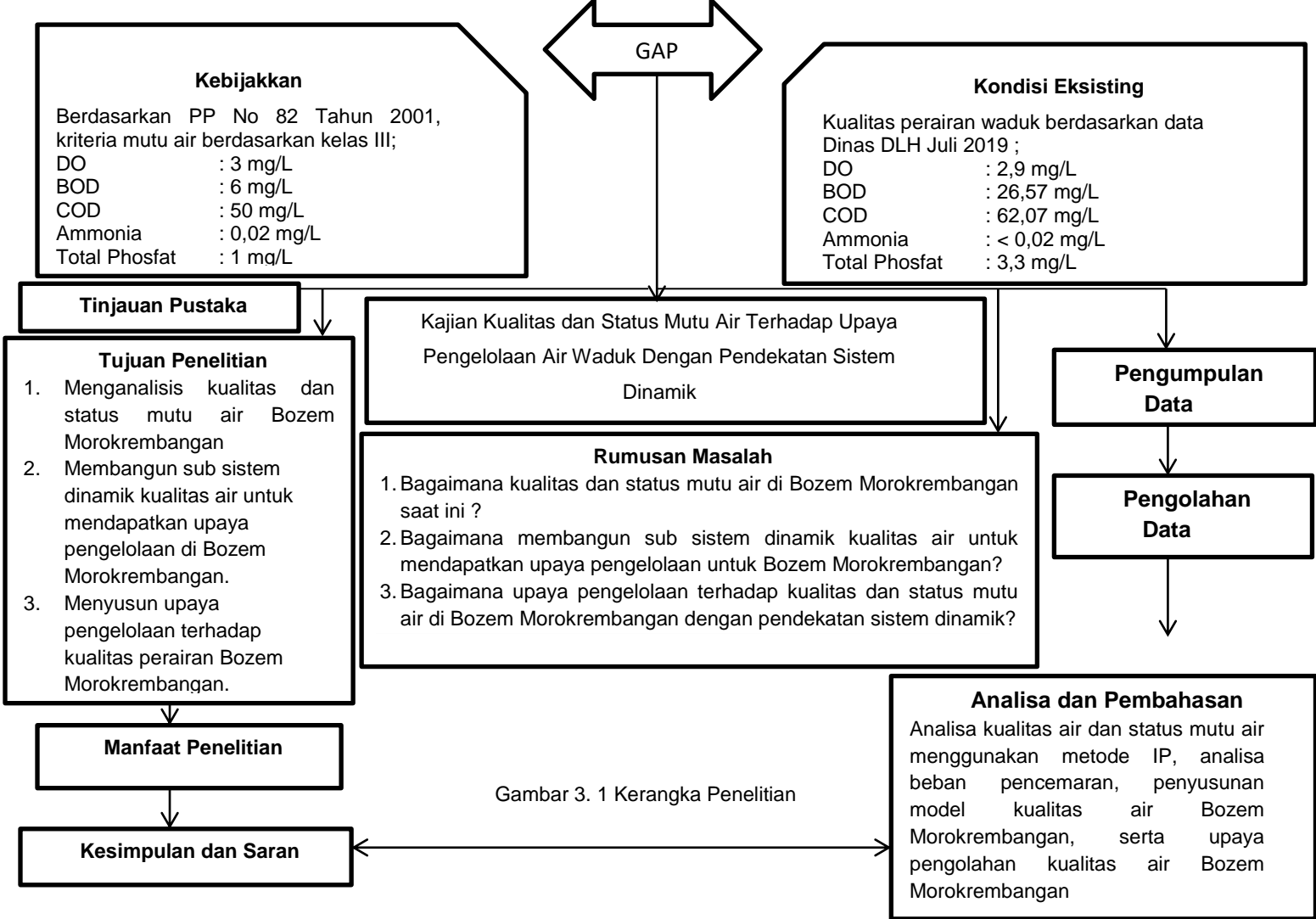
3.4.2. Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder diperoleh dari hasil pencatatan, hasil penelitian terdahulu, dan data atau informasi dari instansi yang terkait. Data sekunder yang dibutuhkan dalam penelitian ini berupa data kualitas air (BOD, COD, DO, Ammonia, dan Fosfat), data jumlah penduduk wilayah penelitian, data jumlah industri, dan data debit. Data sekunder dalam penelitian ini digunakan untuk menentukan faktor emisi (perkiraan spesifik) yang relevan sesuai dengan masing – masing kegiatan sumber pencemar. Dalam penelitian ini, data sekunder dibutuhkan untuk melengkapi data primer yang belum lengkap pada hasil penelitian.

3.5 Aspek Penelitian

Dalam penelitian ini mencakup dua aspek, yaitu;

- Aspek teknis, aspek teknis pada penelitian ini meliputi penentuan status mutu air yang diperoleh berdasarkan data kualitas air sesuai dengan titik (lokasi) pengambilan sampel air. Titik pengambilan sampel ditentukan berdasarkan identifikasi sumber pencemar sepanjang Daerah Aliran Danau (DAD). Selain itu, aspek teknis meliputi kegiatan pembagian kuisioner pada masyarakat sebagai data kuantitatif yang dikuatkan dengan data kualitatif yang digunakan sebagai analisis karakteristik pencemar dengan menghitung beban pencemaran serta menyusun sub model sumber pencemar. Akan tetapi, dalam penelitian ini tidak dilakukan pembagian kuisioner disebabkan karena beberapa kendala, sehingga data kuantitatif dari masyarakat menggunakan hasil wawancara bersama petugas Bozem Morokrembangan. Berdasarkan hal tersebut, maka akan dirumuskan tindakan atau upaya terhadap pengelolaan pencemaran perairan di Bozem Morokrembangan.
- Aspek lingkungan, aspek lingkungan yang akan dibahas dalam penelitian ini yaitu dampak yang diakibatkan dari kegiatan – kegiatan sumber pencemar sehingga mengakibatkan pencemaran pada Bozem Morokrembangan.



Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian

3.6 Penentuan Titik Sampling

Penentuan titik sampling pada penelitian ini dilakukan berdasarkan hasil survey dan inlet yang merupakan sumber masuknya pencemar ke dalam bozem. Hasil survey digunakan untuk mengidentifikasi sumber pencemaran sebagai informasi untuk mengetahui jumlah dan jenis kegiatan yang memiliki kontribusi pencemar dominan sehingga dapat merencanakan upaya pengelolaan terhadap pencemaran perairan Bozem Morokrengan. Dalam penelitian ini, untuk mengidentifikasi sumber pencemaran di sekitar wilayah penelitian dilakukan berdasarkan sumber pencemar yang berasal dari wilayah pemukiman dan sumber pencemar dari industri yang merupakan penyumbang limbah terbesar pada bozem. Identifikasi sumber pencemar industri dibatasi oleh jenis kegiatan industri yang berada disekitar Daerah Aliran Danau (DAD). Berdasarkan identifikasi sumber pencemaran pada Daerah Aliran Danau (DAD) dapat diperoleh karaktersistik limbah yang dihasilkan sesuai dengan sumber pencemarnya.

Identifikasi pencemaran membantu dalam menentukan titik sampling yang berasal dari *point source* dan *non point source*. Penentuan titik sampling dalam penelitian ini juga menggunakan data sekunder berupa peta saluran drainase. Bozem Morokrengan sebagai inlet yang diperoleh dari Dinas PU Bina Marga Kota Surabaya Tahun 2020. Bozem Morokrengan memiliki tiga saluran drainase yang melewati perkotaan serta membawa tampungan aliran air hujan dan limbah. Menurut SNI tahun 2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Permukaan, titik (lokasi) pengambilan sampling pada air waduk atau danau disesuaikan dengan tujuan pengambilan seperti, tempat masuknya sungai ke waduk atau danau, ditengah danau atau waduk, lokasi penyadapan air untuk pemanfaatan, dan tempat keluarnya air pada waduk atau danau. Selain itu, titik pengambilan juga disesuaikan pada kedalaman danau atau waduk sebagai berikut:

1. Danau atau waduk yang memiliki kedalaman < 10 m lokasi pengambilan sampel yaitu pada permukaan dan bagian dasar, kemudian di campurkan (komposit kedalaman)

2. Danau atau waduk yang memiliki kedalaman 10 m – 30 m lokasi pengambilan sampel yaitu, permukaan, lapisan termoklin, dan bagian dasar kemudian dicampurkan (komposit kedalaman)
3. Danau atau waduk yang memiliki kedalaman 31 m – 100 m lokasi pengambilan sampel yaitu permukaan, lapisan termoklin, diatas lapisan hipilimnion, dan bagian dasar kemudian dicampurkan (komposit kedalaman)
4. Danau atau waduk yang memiliki kedalaman > 100 m lokasi pengambilan sampel disesuaikan dengan kebutuhan kemudian dicampurkan (komposit kedalaman).

Bozem Morokrempangan memiliki kedalaman ± 3 meter. Sehingga berdasarkan uraian di atas lokasi pengambilan sampel kualitas air dilakukan 8 titik sampel yang tersebar pada inlet, tengah, dan outlet perairan Bozem Morokrempangan yang dapat mewakili luasan dari perairan tersebut. Lokasi dan koordinat pengambilan sampel air dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Gambar 3.2



Gambar 3. 2 Lokasi Pengambilan Sampel
(Sumber: <https://earth.app.goo.gl/?apn=com.google.earth&isi=293622097&ius=googleearth>)

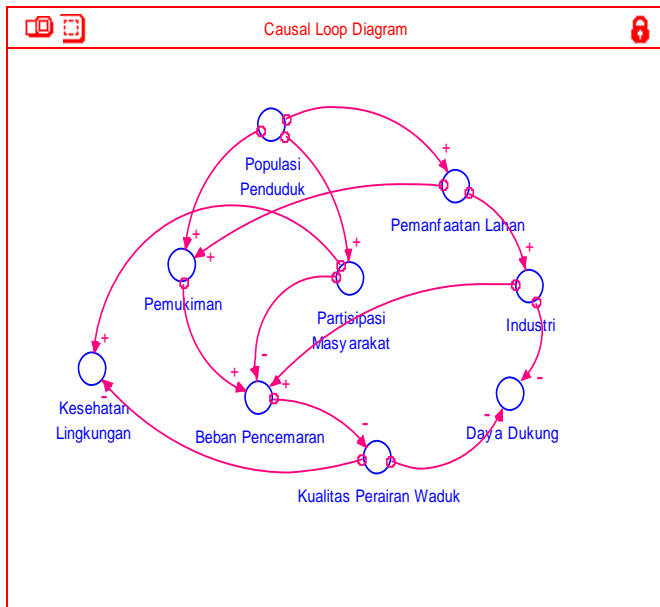
Tabel 3. 1 Lokasi dan Koordinat Pengambilan Sampel

Titik Sampling	Garis Lintang	Garis Bujur	Lokasi Sampling
1	7° 14' 10.51	112° 42'54.77	Kali Greges
2	7° 14' 9.31	112° 43'11.20	Kali Purwodadi
3	7° 14' 2.13	112° 43'12.33	Pemukiman
4	7° 14' 1.77	112° 42'44.22	Saluran Kalianak Timur
5	7°13'57.47	112°42'44.40	Tengah Waduk
6	7°14' 5.18	112° 42'55.77	Rumah Pompa Gadukan
7	7° 13' 52.60	112° 43'10.92	Pemukiman
8	7° 13' 23.17	112° 42'32.80	Pintu Air Morokrembangan

(Sumber: Hasil Survey)

3.7 Causal Loop Diagram (CLD)

Causal Loop Diagram menggambarkan suatu hubungan sebab – akibat yang terjadi dalam suatu sistem secara positif maupun negatif antar variabel sehingga dapat dikembangkan sebagai suatu sub model terhadap upaya pengelolaan kualitas perairan Bozem Morokrembangan. *Causal Loop* pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.3



Gambar 3. 3 *Causal Loop* Kualitas Perairan
Sumber: Hasil Analisis 2020

Berdasarkan *causal loop* diatas, dalam penelitian ini akan disusun sub model beban pencemaran yang berpengaruh terhadap kualitas perairan bozem. Penyusunan sub model beban pencemaran disusun berdasarkan pada sumber pencemar yang terdapat pada wilayah penelitian menggunakan data sekunder. *Causal loop* pada Gambar 3.3 diatas menjelaskan tentang sebab akibat dari pencemaran yang terjadi di Bozem Morokrembangan. Peningkatan jumlah penduduk dan pembangunan industri membutuhkan pemanfaatan lahan yang cukup luas sehingga dapat membentuk wilayah pemukiman. Akan tetapi, wilayah pemukiman yang padat penduduk disekitar bozem dapat berpotensi meningkatkan beban pencemaran akibat limbah yang dihasilkan oleh rumah tangga dan sekitarnya. Pencemaran yang terjadi pada perairan bozem akan mempengaruhi kualitas bozem

sehingga mengurangi daya dukung perairan bozem. Hal tersebut, membutuhkan pengelolaan agar mengurangi atau meminimalisir pencemaran pada perairan Bozem Morokrembangan. Dalam pengelolaan tersebut membutuhkan dukungan dari pemerintah selaku pihak yang berwenang dan partisipasi masyarakat yang tinggi.

3.8 Beban Pencemaran Bozem Morokrembangan

Analisis beban pencemaran Bozem Morokrembangan bertujuan untuk memperoleh jumlah beban pencemar yang masuk ke dalam perairan bozem akibat buangan limbah domestik ataupun industri. Pencemaran Bozem Morokrembangan dipengaruhi oleh aliran yang masuk dari inlet Kali Greges, Kali Purwodadi, dan Saluran Kalianak Timur yang merupakan saluran drainase. Limbah yang masuk melalui saluran drainase tersebut dapat berasal dari limbah pemukiman, limbah industri, limbah perkantoran, atau limbah pasar. Selain itu, ketiga saluran drainase tersebut menampung buangan limbah yang berasal dari saluran drainase sekunder dan tersier yang melewati daerah perkotaan.

Analisis perhitungan beban pencemaran Bozem Morokrembang menggunakan rumus pada sub bab 2.3.3. Dalam peneltiian ini data debit dan kecepatan Bozem Morokrembangan menggunakan data sekunder dari penelitian sebelumnya. Analisis beban pencemaran dilakukan pada inlet Bozem Morokrembangan yaitu Kali Greges, Kali Purwodadi, Saluran Kalianak Timur serta outlet Bozem.

3.9 Validasi Model

Validitas model dilakukan untuk menguji model yang dihasilkan dengan menggunakan data aktual dan data hasil simulasi. Dalam penelitian ini tingkat akurasi sebuah model menggunakan parameter statistik yaitu *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Validasi model dengan parameter MAPE menggunakan persamaan berikut.

$$\text{MAPE} = \frac{A - F}{A} \times 100\%$$

Dimana :

A = Nilai data aktual

F = Nilai data hasil prediksi

Analisis signifikansi MAPE adalah sebagai berikut :

MAPE < 5% : Sangat Tepat

5% < MAPE < 10% : Tepat

MAPE > 10% : Tidak Tepat

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Kualitas Air Bozem Morokrembangan

Kualitas air Bozem Morokrembangan dipengaruhi oleh pencemar yang masuk kedalam bozem yang berasal dari berbagai sumber. Sumber pencemar dapat berasal dari saluran drainase, buangan industri, atau yang berasal langsung dari masyarakat sekitar bozem. Sumber pencemar tersebut yang berasal dari saluran drainase adalah dari saluran Kali Greges, Kali Purwodadi, dan Saluran Kalianak Timur. Sedangkan, buangan industri berasal dari industri kayu yang dominan berada pada area bozem dan yang berasal langsung dari masyarakat yaitu pemukiman penduduk pada area bozem.

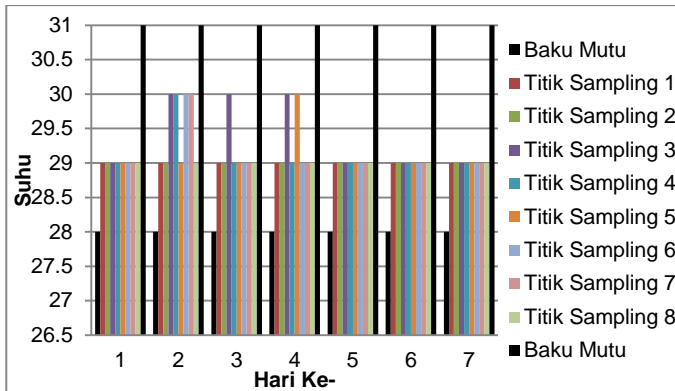
Analisa kualitas air dilakukan di lokasi penelitian pada saat pengambilan sampel dan di laboratorium Departemen Teknik Lingkungan ITS. Analisis kualitas air dalam penelitian ini menggunakan data primer dan data sekunder. Data primer yang digunakan untuk analisis parameter DO, COD, BOD₅ untuk hari ke-1 sampai hari ke-5, COD, Ammonia, dan Total Fosfat yang diperoleh dari analisis lapangan dan laboratorium. Analisis data primer dilakukan dengan pengambilan sampel secara *time series* selama tujuh hari berturut – turut sebanyak 8 titik sampel. Pengambilan sampel dilakukan secara *time series* agar dapat melihat tren perubahan kualitas air dari waktu ke waktu yang dilakukan setiap hari pada waktu pagi dimulai pukul 07.00 WIB dan pada waktu sore dimulai pukul 16.00 WIB. Selanjutnya, berhubungan dengan kondisi yang tidak memungkinkan sehingga dalam penelitian ini menggunakan data sekunder. Data sekunder digunakan untuk parameter BOD₅ pada hari ke-6 dan hari ke-7 diperoleh dari data Dinas Lingkungan Hidup tahun 2019. Data analisis kualitas Air Bozem Morokrembangan dapat dilihat pada lampiran I Tabel 2.1 hingga Tabel 2.7.

Berdasarkan pada SNI tahun 2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Permukaan, titik (lokasi) pengambilan sampel air pada air waduk atau danau ditentukan berdasarkan kedalaman danau. Oleh karena itu, pengambilan sampel air di Bozem Morokrembangan dilakukan pada kedalaman ± 3 m sesuai dengan kedalamannya. Parameter air pada bozem

tersebut yang digunakan diantaranya, pH, Suhu, DO, COD, BOD, Ammonia, dan Total Phosfat (berdasarkan pada Peraturan Pemerintah No.82 Tahun 2001), yang selanjutnya akan dibandingkan dengan baku mutu air kelas III sesuai dengan peruntukannya. Sehingga dalam penelitian ini standar baku mutu yang digunakan untuk Bozem Morokrengan yaitu standar baku mutu air kelas III sesuai dengan Peraturan Pemerintah No.82 Tahun 2001.

4.1.1. Suhu

Menurut Peraturan Pemerintah No.82 Tahun 2001 pada baku mutu air kelas III suhu air memiliki standar deviasi ± 3 . Batasan deviasi 3 dapat diartikan sebagai $\pm 3^{\circ}\text{C}$ dari suhu normal air alamiah. Batasan tersebut mengartikan apabila suhu normal air pada kelas III adalah 29°C maka kriteria air kelas III membatasi suhu air pada kisaran 26°C - 32°C . Pengukuran suhu air Bozem Morokrengan dilakukan secara langsung menggunakan *thermometer*. Suhu memiliki hubungan antara pH dan oksigen, yang menunjukkan dinamika perairan, potensi produktivitas dan evolusi kimia didalamnya (Lukman dan Ridwansyah, 2010). Suhu perairan berperan penting dalam proses ekologis badan air serta profil suhu secara vertikal di danau diperlukan untuk menentukan kandungan panas perairan, lapisan termoklin dan pencampuran massa air di perairan (Katsev, *et.al*, 2014). Peningkatan suhu menyebabkan penurunan kelarutan gas dalam air (O_2 , CO_2 dan N_2), peningkatan kecepatan metabolisme dan respirasi organisme air yang selanjutnya meningkatkan konsumsi oksigen, serta peningkatan dekomposisi bahan organik oleh mikroba (Vigil, 2003). Kondisi suhu air Bozem Morokrengan dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.

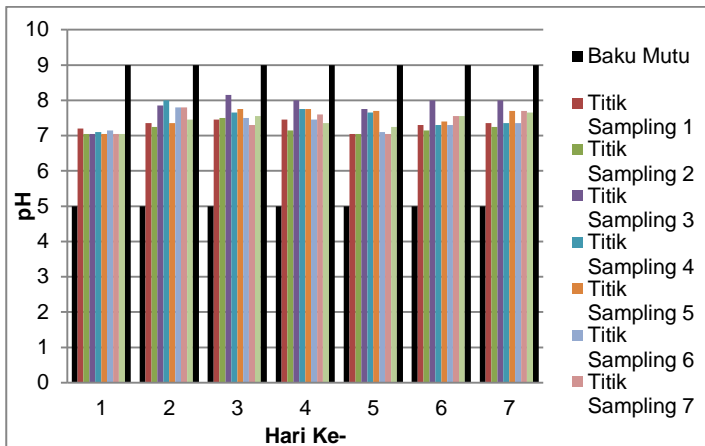


Gambar 4. 1 Grafik Konsentrasi Suhu Bozem Morokrengan
Sumber: Hasil Analisa (2020)

Dari gambar grafik diatas, kondisi suhu perairan Bozem Morokrengan berkisar antara 29°C - 30°C . Pada grafik tersebut terjadi peningkatan suhu pada hari ke-2 di titik 6 dan titik 7, hari ke-3 pada titik 3 dan hari ke-4 pada titik 5, hal ini dikarenakan pengambilan sampel air yang dipengaruhi oleh temperatur waktu pengambilan sampel. Sedangkan, pada titik yang lainnya yaitu titik 1, titik 2, titik 4, dan titik 8 suhu berada pada suhu standar yaitu 29°C berdasarkan Peraturan Pemerintah No 82 Tahun 2001. Berdasarkan hasil analisis pada Gambar 4.1 diatas, maka dapat disimpulkan bahwa suhu pada perairan Bozem Morokrengan masih memenuhi standar suhu perairan berdasarkan Kelas III yaitu antara 26°C - 32°C .

4.1.2. Derajat Keasaman (pH)

Nilai pH sangat mempengaruhi proses biokimia perairan, misal seperti proses nitrifikasi yang akan berakhir jika pH rendah berapa yaitu $\text{pH} < 6$ atau yang bersifat asam. Senyawa karbonat, bikarbonat dan hidroksida dapat meningkatkan pH suatu perairan sedangkan amonium dan H_2S banyak ditemukan di perairan dengan pH rendah < 6 (Iriadi, 2015). Parameter pH dianalisis langsung pada saat pengambilan sampel di lapangan dengan menggunakan pH meter. Kondisi derajat keasaman Bozem Morokrengan dapat dilihat pada Gambar 4.2. berikut.



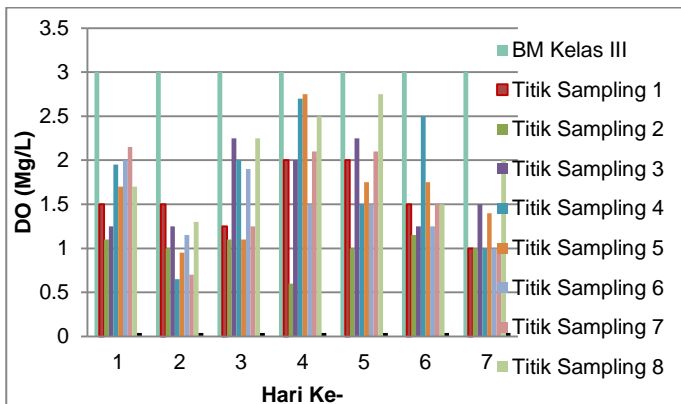
Gambar 4. 2 Grafiik Konsentrasi pH Bozem Morokrembangan
Sumber: Hasil Analisa (2020)

Derajat keasaman dengan nilai pH yang terlalu asam yaitu < 6 dan nilai pH yang basah > 8 dapat berpengaruh pada nilai toksisitas suatu senyawa kimia. Sifat toksisitas suatu perairan yang diakibatkan oleh pH dikarenakan pH yang terlalu asam dan terlalu basa sehingga akan mematikan makhluk hidup. Suasana alkalis pH tinggi > 10 banyak ditemukan amonia yang tidak terionisasi dan bersifat toksik. Umumnya sungai, danau dan badan air memiliki nilai pH sekitar $6 - 8,5$, (Vigil, 2003). Berdasarkan baku mutu air kelas III dengan range nilai pH berkisar pada $6 - 9$, berarti konsentrasi pH pada Bozem Morokrembangan yang berkisar antara $7,1 - 8,0$ masih memenuhi standar baku mutu. Kadar pH pada suatu perairan mempengaruhi tingkat kesuburan perairan karena berpengaruh terhadap kehidupan jasad renik. pH yang rendah juga mempengaruhi kadar oksigen terlarut (DO) dalam perairan, pH yang rendah menyebabkan oksigen terlarut rendah menyebabkan kualitas air yang tidak baik. Derajat keasaman sangat berpengaruh terhadap daya racun bahan pencemaran dan kelarutan beberapa gas, serta menentukan bentuk zat didalam air (Gazali dkk, 2013).

Berdasarkan hasil analisis pada Gambar 4.2 diatas dapat disimpulkan bahwa pH perairan Bozem Morokreimbangan masih memenuhi standar derajat keasaman (pH) perairan pada kelas III yaitu dengan kisaran nilai antara 7,1 – 8,0.

4.1.3. *Dissolved Oxygen (DO)*

Oksigen terlarut merupakan sumber utama kehidupan perairan yang dapat berasal dari atmosfer dan proses fotosintesis dari tumbuhan air. Oksigen dari udara diserap dan selanjutnya terdifusi pada permukaan air oleh angin dan arus air. Jumlah oksigen terlarut di suatu ekosistem danau dipengaruhi oleh faktor temperature (Fitra, 2008). Analisis parameter *dissolved oxygen* (DO) dilakukan langsung dilapangan menggunakan botol *winkler*. Sampel air bozem dimasukkan kedalam botol *winkler* dengan menambahkan larutan Mangan Sulfat ($MnSO_4$) dan pereaksi oksigen hingga menimbulkan gumpalan warna kuning kecoklatan. Kemudian menambahkan larutan H_2SO_4 dan meneteskan larutan amilum serta titrasi menggunakan Natrium Thiosulfat untuk mengetahui kadar oksigen yang terkandung didalam sampel air. Hasil analisis air tersebut menunjukkan kadar oksigen terlarut (DO) pada Bozem Morokreimbangan dapat dilihat pada Gambar Grafik 4.3. berikut.



Gambar 4. 3 Grafik Konsentrasi DO Bozem Morokreimbangan
Sumber: Hasil Analisa (2020)

Berdasarkan gambar grafik tersebut, terlihat kondisi DO perairan yang masih memenuhi baku mutu air kelas IV yaitu 0 mg/L dan apabila dibandingkan dengan baku mutu air kelas III belum memenuhi baku mutu air kelas III yaitu 3 mg/L menurut Peraturan Pemerintah Lingkungan Hidup No 82 Tahun 2001. Buangan limbah pada Bozem Morokrempangan berasal dari saluran - saluran drainase yang menuju ke bozem baik dari limbah rumah tangga, limbah industri, atau limbah perkantoran. Sebagian besar limbah yang masuk ke dalam Bozem Morokrempangan merupakan limbah domestik yang mengandung banyak *organic biodegradable* seperti protein, karbohidrat, dan lemak. Kandungan senyawa *organic biodegradable* dengan konsentrasi yang tinggi dapat yang menyebabkan rendahnya kandungan oksigen dalam perairan (Slamet, 2016). Suhu sangat berpengaruh pada konsentrasi DO, semakin meningkatnya suhu air maka konsentrasi DO perairan menurun, begitu juga sebaliknya apabila suhu air menurun maka konsentrasi DO akan semakin meningkat (Ghufran dan Baso, 2005).

Peruntukkan Bozem Morokrempangan sesuai dengan pemanfaatannya seharusnya memenuhi baku mutu air kelas III. Akan tetapi, keseluruhan rata-rata grafik tersebut menunjukkan bahwa kualitas air Bozem Morokrempangan yang belum memenuhi baku mutu air kelas III terutama pada sampel air pada titik 2 yaitu Saluran Kali Purwodadi yang memiliki konsentrasi Nilai DO sebesar 1,1 mg/L dari hari ke- 1 sampai hari ke- 7. Konsentrasi rata - rata DO yang rendah pada titik 2 sebesar 1,1 mg/L disebabkan oleh pembusukan karena masuknya nutrisi yang berlebihan terutama nitrogen (N) dan fosfor (P). Selanjutnya konsentrasi terendah juga terjadi pada titik 6 yaitu Pintu Bozem Morokrempangan yang merupakan outlet Bozem bagian selatan. Konsentrasi terendah pada titik 6 sebesar 1,5 mg/L disebabkan karena akumulasi dari masuknya buangan limbah yang berasal dari Bozem selatan yaitu titik 1, titik 2, titik 3, titik 4, dan titik 5.

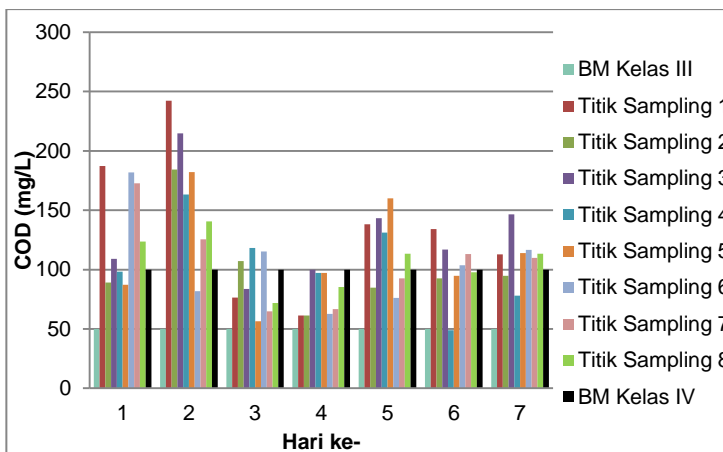
Selanjutnya, grafik DO yang tidak konstan disebabkan oleh curah hujan yang terjadi selama periode pengambilan sampel. Hal ini disebabkan, karena pada saat musim hujan terjadi peningkatan beban pencemaran yang disebabkan oleh buangan

yang berasal dari sumber pencemar seperti pemukiman, industri maupun limpasan air hujan yang membawa endapan yang berasal dari saluran – saluran drainase pada area pelayanan Bozem Morokrengan. Berdasarkan hasil analisis pada Gambar 4.3 dapat disimpulkan bahwa DO perairan Bozem Morokrengan masih memenuhi baku mutu air kelas IV yaitu 0 mg/L dan tidak memenuhi baku mutu air kelas III yaitu 3 mg/L.

4.1.4. Chemical Oxygen Demand (COD)

Kebutuhan oksigen kimia (COD) adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi baik yang dapat didegradasi secara biologi maupun sukar didegradasi menjadi CO_2 dan H_2O (Vigil, 2003). Nilai COD juga dapat banyak mengandung oksidator kuat yang diperlukan untuk mengoksidasi bahan organik di dalam air (Iriadi, 2015). Analisis konsentrasi COD pada sampel air bozem menggunakan Kalium Dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) dengan penambahan kristal Merkuri Sulfat (HgSO_4) dan pencampuran antara Kristal Perak Sulfat (AgSO_4) dengan Asam Sulfat (H_2SO_4). Sampel air yang telah dicampur larutan tersebut kemudian direfluks selama 2 jam.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No 82 Tahun 2001, baku mutu air COD kelas III adalah 50 mg/L dan baku mutu air kelas IV adalah 100 mg/L. Kadar konsentrasi COD Bozem Morokrengan dapat dilihat pada Gambar Grafik 4.4. berikut.



Gambar 4. 4 Grafik Konsentrasi COD Bozem Morokrembangan
Sumber: Hasil Analisa (2020)

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Lingkungan Hidup No 82 Tahun 2001 menetapkan baku mutu air kelas III pada parameter COD adalah 50 mg/L dan baku mutu air kelas IV adalah 100 mg/L. Hasil analisa nilai konsentrasi COD pada Bozem Morokrembangan berdasarkan pada gambar grafik diatas, menunjukkan bahwa konsentrasi COD yang mengalami fluktuasi setiap harinya dengan hasil analisis berkisar antara 49 mg/L – 242 mg/L. Hasil konsentrasi rata – rata tertinggi nilai COD sebesar 136 mg/L pada titik 1 yaitu Kali Greges. Peningkatan nilai COD yang tinggi pada titik 1 Kali Greges disebabkan karena buangan limbah yang berasal dari hulu saluran drainase yang kemudian mengalir membawa limbah ke dalam Bozem Morokrembangan. Apabila dibandingkan antara baku mutu air kelas III yaitu 50 mg/L dengan hasil analisa pada Gambar 4.4, rata – rata konsentrasi nilai COD perairan Bozem Morokrembangan sebesar 113 mg/L tidak memenuhi baku mutu air kelas III. Sedangkan jika dibandingkan dengan baku mutu air kelas IV, pada beberapa titik yaitu titik 2, titik 4, dan titik 5 pada hari ke- 1 masih memenuhi baku mutu air kelas IV yaitu 100 mg/L. Hal tersebut menjelaskan bahwa pencemaran yang terjadi pada Bozem Morokrembangan belum merata dikarenakan titik –

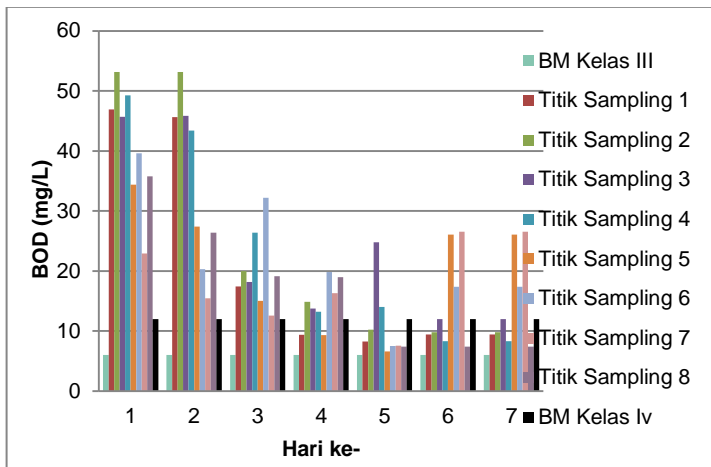
titik tersebut masih memenuhi baku mutu. Selanjutnya, pada hari ke-2 sampai hari ke-7 rata – rata konsentrasi COD pada semua titik tidak memenuhi baku mutu air kelas IV. Lihat pada titik 1 Kali Greges yang mana nilai rata – rata konsentrasi CODnya sebesar 136 mg/L, dan pada titik 3 saluran area pemukiman nilai rata – rata konsentrasi CODnya sebesar 131 mg/L. Nilai- nilai COD tersebut mengindikasikan banyaknya senyawa organik yang dioksidasi secara kimia dan menunjukkan tingkat pencemaran yang tinggi (Yudo, 2010).

Peningkatan konsentrasi COD pada perairan Bozem Morokembangan disebabkan buangan limbah domestik yang sangat dominan terkonsentrasi pada dasar perairan bozem karena adanya sedimentasi (Widyana, 2013). Banyaknya sedimentasi pada dasar bozem dikarenakan pengurukan yang kurang maksimal disebabkan kekurangan sarana pengerukan (Hasil wawancara DKRTH, 2020). Air limbah yang masuk kedalam Bozem Morokembangan tersebut, didominasi oleh air limbah domestik yang berasal dari pemukiman warga serta yang mengandung banyak bahan organik *non biodegradable* sehingga sukar didegradasi secara biologis. Menurut Zaharudin dkk (2016), limbah yang mengandung banyak total senyawa organik baik yang mudah diuraikan secara biologis maupun terhadap senyawa yang sukar/tidak bisa diuraikan secara biologis pada perairan dapat meningkatkan tingginya nilai COD.

Menurut hasil analisis yang digambarkan pada Gambar 4.4 dapat disimpulkan bahwa konsentrasi COD pada perairan Bozem Morokembangan hanya terdapat satu titik yang memenuhi baku mutu air kelas III yaitu pada titik 4 (Saluran Kalianak Timur) hari ke-6 sebesar 9 mg/L. Selain itu, berdasarkan hasil rata – rata konsentrasi COD perairan Bozem Morokembangan pada titik 1, titik 2, titik 3, titik 5, titik 6, titik 7, dan titik 8 tidak memenuhi baku mutu air kelas III dan baku mutu air kelas IV dengan rata – rata konsentrasi tertinggi sebesar 136 mg/L. Sehingga, berdasarkan uraian diatas dapat disimpulkan bahwa konsentrasi COD pada perairan Bozem Morokembangan tidak memenuhi baku mutu kelas III dan kelas IV.

4.1.5. Biochemical Oxygen Demand (BOD₅)

Kebutuhan oksigen biokimiawi adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroba aerob untuk menguraikan bahan organik. BOD₅ hanya menggambarkan bahan organik yang dapat diuraikan secara biologis (Iriadi, 2015). Bahan organik ini dapat berupa lemak, protein, glukosa, aldehida, ester dan lain-lain. Secara tidak langsung, BOD menggambarkan kadar bahan organik yang berada di perairan (Effendi, 2003). Berdasarkan Peraturan Pemerintah No 82 Tahun 2001 baku mutu BOD kelas III yaitu 6 mg/L dan baku mutu BOD kelas IV yaitu 12 mg/L. Hasil analisis konsentrasi BOD₅ Bozem Morokrempangan dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Grafik Konsentrasi BOD₅ Bozem Morokrempangan
Sumbe : Hasil Analisa (2020)

Gambar 4.5. grafik tersebut menunjukkan kisaran nilai BOD₅ perairan Bozem Morokrempangan yaitu berkisar antara 6,60 mg/L – 53,17 mg/L. Berdasarkan gambar grafik tersebut mengindikasikan bahwa tingkat pencemaran yang terjadi di Bozem Morokrempangan cukup tinggi karena melampaui batas baku mutu yang ditetapkan pada Permen LH No 82 Tahun 2001. Selanjutnya, hasil analisis BOD₅ perairan Bozem

Morokrembangan apabila dibandingkan dengan baku mutu air kelas III yaitu 6 mg/L belum memenuhi baku mutu air kelas III dengan konsentrasi terendah 6,60 mg/L O₂. Hal tersebut disebabkan banyaknya buangan limbah yang berasal dari pemukiman penduduk seperti sampah, sisa makanan, air sisa mandi dan banyaknya jamban yang langsung menuju kedalam bozem (Hasil Survey dan Wawancara, 2020). Kondisi eksisting Bozem Morokrembangan tersebut disajikan pada dokumentasi lampiran V.

Hasil analisis menjelaskan bahwa konsentrasi nilai BOD₅ pada hari ke- 1 sampai hari ke- 3 belum memenuhi baku mutu air kelas IV yaitu 12 mg/L. Konsentrasi tertinggi terjadi di hari ke-1 pada titik sampling 2 yang berada pada Kali Purwodadi sebesar 53,17 mg/L O₂. Nilai BOD₅ yang tinggi pada Kali Purwodadi diduga karena adanya aktivitas warga yang membuang limbah kedalam Kali Purwodadi yang menyebabkan kandungan bahan organik dalam perairan bozem meningkat. Menurut, Tatangindatu dkk (2011) tingginya BOD disebabkan jumlah oksigen yang dibutuhkan mikroba untuk mengoksidasi bahan organik di perairan tinggi. Namun, pada hari ke -5 terjadi penurunan konsentrasi BOD₅ pada titik 2 dari nilai 14,84 mg/L O₂ menjadi 10,21 mg/L O₂. Penurunan konsentrasi nilai BOD₅ pada titik 2 disebabkan terjadinya proses degradasi zat organik oleh mikroorganisme perairan, sehingga menyebabkan kandungan bahan organik *biodegradable* sedikit untuk diuraikan oleh mikroorganisme. Hal lain yang menyebabkan rendahnya konsentrasi BOD₅ sebesar 10,21 mg/L O₂ pada hari ke-5 yaitu akibat dari tingginya curah hujan sehingga menyebabkan pengenceran pada air bozem.

Selanjutnya, rata – rata konsentrasi nilai BOD₅ yang ditunjukkan pada Gambar 4.5 menjelaskan bahwa konsentrasi BOD pada perairan Bozem Morokrembangan belum memenuhi baku mutu air kelas III. Konsentrasi nilai BOD yang tinggi dipengaruhi oleh konsumsi oksigen dalam perairan Bozem Morokrembangan yang tinggi yang ditunjukkan dengan semakin rendahnya jumlah oksigen terlarut didalam bozem. Konsumsi oksigen yang tinggi mengindikasikan kandungan bahan – bahan pencemar di dalam air yang membutuhkan jumlah oksigen yang tinggi (Tamyiz, 2015). Kandungan bahan pencemar dalam

perairan Bozem Morokrembangan juga dipengaruhi oleh perubahan derajat *biodegradability* yang ditandai dengan kenaikan rasio BOD/COD. Rasio untuk bahan pencemar *non-biodegradable* $<0,01$, sedangkan untuk limbah yang bersifat *biodegradable* $>0,1$ (Koch *et al.*, 2002). Rasio BOD/COD perairan Bozem Morokrembangan dapat dilihat pada Tabel 4.1. berikut.

Tabel 4. 1 Perbandingan Rasio BOD/COD Bozem Morokrembangan

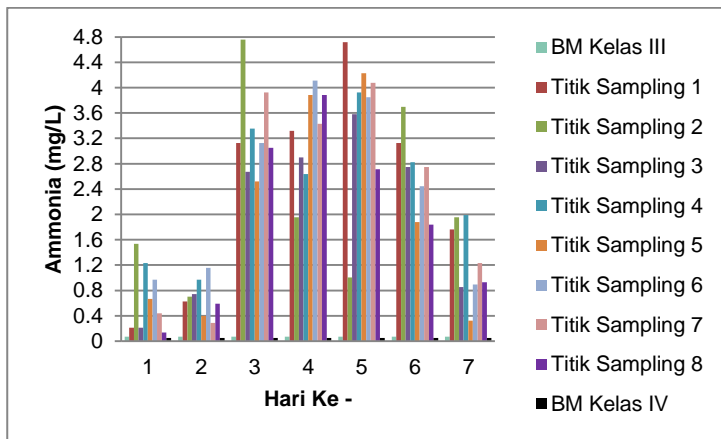
Titik Sampling	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4	Hari ke-5	Hari ke-6	Hari ke-7	Rata – Rata
1	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
2	0,6	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2
3	0,4	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2
4	0,5	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2
5	0,4	0,2	0,3	0,1	0,0	0,3	0,2	0,2
6	0,2	0,2	0,3	0,3	0,1	0,2	0,1	0,2
7	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2
8	0,3	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2

Sumber: Hasil Analisis (2020)

Rasio BOD/COD pada Tabel 4.1 diatas menjelaskan rata – rata rasio BOD/COD $>0,1$ yang menjelaskan bahwa kandungan bahan pencemar pada perairan Bozem Morokrembangan didominasi oleh bahan pencemar *biodegradable*. Rasio BOD/COD mengindikasikan biodegradabilitas dari air buangan, semakin tinggi rasio maka semakin rendah biodegradabilitas dari air buangan (Papadopoulos *et al.*, 2001). Berdasarkan hasil analisis tersebut, dapat disimpulkan bahwa konsentrasi BOD pada perairan Bozem Morokrembangan belum memenuhi baku mutu air kelas III dan baku mutu air kelas IV. Hal tersebut disebabkan banyaknya kandungan bahan organik *biodegradable* yang dibuktikan dengan rasio BOD/COD (Papadopoulos *et al.*, 2001).

4.1.6. Ammonia ($\text{NH}_3\text{-N}$)

Ammonia merupakan sumber utama nitrogen pada perairan dan bersifat mudah terlarut. Ammonia dapat berasal dari reduksi gas nitrogen yang berasal dari proses defusi udara atmosfer, limbah industri dan domestik. Amonia dapat terserap kedalam bahan-bahan tersuspensi dan koloid sehingga mengendap di dasar perairan. Amonia merupakan salah satu parameter yang penting terutama untuk mengetahui pencemaran yang terjadi di danau (Widyana, 2013). Analisa parameter ammonia dilakukan menggunakan spektrofotometer dengan campuran larutan Nessler dan Garam Signet. Hasil analisa ammonia dapat dilihat pada Gambar Grafik 4.6. berikut.



Gambar 4. 6 Grafik Konsentrasi $\text{NH}_3\text{-N}$ Bozem Morokrembangan
Sumber: Hasil Analisa (2020)

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No 82 Tahun 2001 menetapkan baku mutu ammonia pada baku mutu air kelas III dan kelas IV yaitu 0,02 mg/L. Hasil analisis pada Gambar 4.6 menunjukkan konsentrasi ammonia yang tidak memenuhi baku mutu air kelas III maupun baku mutu air kelas IV. Hal ini terlihat pada konsentrasi tertinggi ammonia perairan Bozem Morokrembangan pada titik 2 yaitu Kali Purwodadi sebesar 4,76 mg/L dan titik 1 yaitu Kali Greges sebesar 4,72 mg/L diikuti

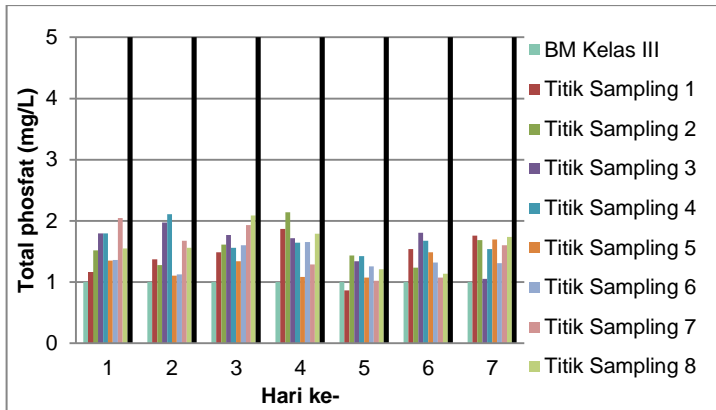
dengan konsentrasi pada titik 5 adalah 4,23 mg/L, titik 6 adalah 4,11 mg/L, titik 7 adalah 4,08 mg/L, titik 4 adalah 3,92 mg/L, titik 8 adalah 3,89 mg/L dan titik 3 adalah 3,58 mg/L . Kali Purwodadi dan Kali Greges merupakan saluran drainase utama pada area Bozem morokrembangan yang membawa aliran air hujan menuju kedalam bozem.

Konsentrasi NH_3 yang tinggi dimungkinkan kedua saluran tersebut merupakan saluran *inlet* yang membawa banyak material termasuk *fezes* dari rumah tangga pada area Bozem Morokrembangan yang langsung menuju ke dalam bozem sehingga meningkatkan kadar ammonia. Selain itu, peningkatan kadar ammonia disebabkan pada saluran – saluran drainase area Bozem Morokrembangan yang terdapat banyak buangan limbah olahan bahan makanan yang berasal dari pemukiman. Limbah yang berasal dari sisa bahan makanan yang berada dalam perairan biasanya mengandung protein yang dapat terdegradasi menjadi senyawa yang mudah menguap dan berbau seperti NH_3 (Warlina, 2004).

Sehingga, berdasarkan hasil analisis konsentrasi ammonia dapat disimpulkan bahwa konsentrasi ammonia perairan Bozem Morokrembangan belum memenuhi baku mutu air kelas III maupun baku mutu air kelas IV yaitu 0,02 mg/L.

4.1.7. Total Phosfat (PO_4^{3-})

Fosfat total adalah jumlah fosfat yang terlarut dan tersuspensi dalam air setelah mengalami proses pelepasan oleh campuran asam kuat (Juantari dkk, 2013). PO_4^{3-} merupakan bentuk yang dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan dan merupakan unsur yang esensial bagi tumbuhan, sehingga menjadi faktor pembatas yang mempengaruhi produktivitas perairan (Awalunikhmah, 2017). Menurut Peraturan Pemerintah Lingkungan Hidup No 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran, menetapkan baku mutu air kelas III yaitu 1 mg/L dan baku mutu air kelas IV konsentrasi PO_4^{3-} yaitu 5 mg/L. Hasil analisis Total phosfat dapat dilihat pada Gambar 4.7 berikut.



Gambar 4. 7 Grafik Konsentrasi Total phosfat Bozem Morokrempangan
Sumber: Hasil Analisa (2020)

Hasil analisa total phosfat berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa konsentrasi total phosfat pada Bozem Morokrempangan masih memenuhi standar baku mutu air kelas IV. Namun, apabila dibandingkan dengan baku mutu air kelas III konsentrasi rata -rata PO_4^{3-} belum memenuhi baku mutu air kelas III. Konsentrasi PO_4^{3-} pada Bozem Morokrempangan berfluktuasi, pada titik 4 yang berada pada Kalianak Timur memiliki kadar konsentrasi yang tinggi sebesar 1,68 mg/L dan diikuti oleh titik 3 yang merupakan daerah pemukiman dengan konsentrasi sebesar 1,64 mg/L. Konsentrasi yang tinggi pada titik 3 dan titik 4 disebabkan karena pada kedua titik tersebut merupakan wilayah pemukiman yang menghasilkan limbah dengan bahan buangan detergen, tinja, dan sisa makanan. Hal tersebut mengindikasikan bahwa pencemaran yang terjadi pada Bozem Morokrempangan merupakan akumulasi dari berbagai *inlet* sekitar Bozem Morokrempangan. Selanjutnya, pada Gambar 4.7 menunjukkan terjadinya penurunan konsentrasi total phosfat pada titik 5 dengan nilai rata – rata konsentrasi sebesar 1,30 mg/L. Adapun penyebab turunnya konsentrasi tersebut adalah proses degradasi organik oleh mikroorganisme perairan dimana

fosfat berfungsi sebagai nutrient bersamaan dengan nitrat. Senyawa fosfat dan nitrat diserap oleh tumbuhan dan ganggang untuk proses pertumbuhan (Brahmana dkk, 2010). Konsentrasi Total Fosfat perairan Bozem Morokrempangan mengalami fluktuasi pada titik yang lain dengan rata – rata konsentrasi pada titik 1 sebesar 1,44 mg/L, titik 2 sebesar 1,56 mg/L, titik 6 sebesar 1,37 mg/L, titik 7 sebesar 1,52 mg/L dan titik 8 sebesar 1,58 mg/L. Tren konsentrasi nilai fosfat pada perairan dipengaruhi oleh konsentrasi nilai BOD yang tinggi. Konsentrasi BOD yang tinggi pada perairan akan menyebabkan rendahnya konsentrasi fosfat.

Berdasarkan hasil analisis Total fosfat diatas, dapat disimpulkan bahwa konsentrasi Total fosfat perairan Bozem Morokrempangan belum memenuhi baku mutu air kelas III yaitu 1 mg/L. Namun, hasil analisis menunjukkan bahwa konsentrasi Total Fosfat pada perairan Bozem Morokrempangan masih memenuhi baku mutu air kelas IV yaitu 5 mg/L.

Hasil analisis kualitas air perairan Bozem Morokrempangan pada penjelasan diatas menunjukkan kualitas air Bozem Morokrempangan secara keseluruhan tidak memenuhi baku mutu air kelas III sesuai dengan peruntukannya. Hal tersebut dibuktikan dengan nilai konsentrasi parameter kualitas air yaitu untuk parameter DO dengan nilai konsentrasi rata – rata 1,6 mg/L, konsentrasi COD sebesar 113 mg/L, konsentrasi BOD₅ sebesar 21,47 mg/L, konsentrasi Ammonia 2,21 mg/L, konsentrasi Total fosfat 1,51 mg/L. Sedangkan untuk parameter pH dan suhu masih memenuhi baku mutu air kelas III dengan nilai pH 7,3 dan nilai suhu perairan 29⁰C. Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat dibandingkan antara kualitas air pada data primer dan kualitas air pada data sekunder (Data Dinas Lingkungan Hidup, Juli 2019) yang dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4. 2 Perbandingan Kualitas Air Data Primer dan Data Sekunder

Parameter	Data Primer (mg/L)	Data Sekunder (mg/L)	Baku Mutu Kelas III (mg/L)	Baku Mutu Kelas IV (mg/L)
DO	1,6	2,9	3	0
BOD ₅	21,47	26,57	6	12
COD	113	62,07	50	100
Ammonia sebagai N	2,21	<0,02	0,02	0,02
Total Phosfat sebagai P	1,51	3,3	1	5

Sumber: Hasil Analisis (2020)

Tabel 4.2 diatas menjelaskan perbandingan analisis kualitas air berdasarkan data primer dan data sekunder (Data Dinas Lingkungan Hidup, Juli 2019). Tabel 4.2 menunjukkan nilai konsentrasi kualitas air pada data primer memiliki selisih nilai yang tidak berbeda jauh dengan data sekunder. Hal tersebut mengindikasikan bahwa perairan Bozem Morokrempangan mengalami kenaikan dan penurunan beban pencemaran akibat limbah yang masuk serta konsentrasi perairan yang masih melewati baku mutu. Tingkat pencemaran Bozem Morokrempangan dijelaskan dengan perhitungan status mutu air pada sub bab 4.2. Selanjutnya, Tabel 4.2. tersebut menunjukkan nilai konsentrasi pada data primer tidak memenuhi baku mutu air kelas III. Sedangkan, untuk baku mutu air kelas IV terdapat satu parameter yang memenuhi baku mutu air kelas IV dengan nilai konsentrasi sebesar 1,51 mg/L.

Berdasarkan penjelasan analisis kualitas air diatas dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan kualitas air perairan Bozem Morokrempangan tidak memenuhi baku mutu air kelas III sebagaimana dengan pemanfaatannya pada kondisi eksisting. Sehingga, dalam melihat hal tersebut dibutuhkan upaya terhadap pengelolaan kualitas perairan Bozem Morokrempangan

4.2. Penentuan Status Mutu Air dengan Metode IP

Penentuan status mutu air ditentukan berdasarkan data kualitas air yang diperoleh dari hasil analisa laboratorium atau lapangan. Perhitungan status mutu air dengan metode IP menggunakan persamaan pada sub bab 2.3. Hasil perhitungan IP dari hari ke-1 hingga hari ke-7 disajikan pada lampiran II.

Perhitungan IP hari ke-1 titik 1:

a. Derajat Keasaman (pH)

- Baku mutu pH Kelas III (Li) = 6 – 9

- pH (Ci) = 7,2

Parameter pH merupakan parameter yang memiliki rentang nilai sehingga dalam perhitungannya menggunakan persamaan 2.2.

$$\begin{aligned}
 Li_{rata-rata} &= \frac{6+9}{2} \\
 &= 7 \\
 (C_i/L_{ij})_{baru} &= \frac{C_i - L_{ij} (rata-rata)}{L_{ij} (minimum) - L_{ij} (rata-rata)} \\
 &= \frac{7,2 - 7}{9 - 7} \\
 &= 0,10
 \end{aligned}$$

b. Suhu

- Baku mutu (Li) = deviasi 3

- Suhu (Ci) = 29⁰C

- Suhu udara ambien = 29⁰C

Parameter Suhu merupakan parameter yang memiliki rentang nilai sehingga dalam perhitungannya menggunakan persamaan 2.2.

$$\begin{aligned}
 Li_{rata-rata} &= \frac{26+32}{2} \\
 &= 29 \\
 (C_i/L_{ij})_{baru} &= \frac{C_i - L_{ij} (rata-rata)}{L_{ij} (minimum) - L_{ij} (rata-rata)} \\
 &= \frac{29 - 29}{32 - 29} \\
 &= 0,0
 \end{aligned}$$

c. Dissolved Oxygen (DO)

- Baku mutu (Li) = 0 mg/L
- Konsentrasi DO (Ci) = 1,5 mg/L
- DO Saturasi (29°C) = 7,7

DO merupakan parameter yang apabila nilai DO turun menunjukkan tingkat pencemaran semakin meningkat, maka perhitungan menggunakan persamaan 2.1.

$$\begin{aligned}(C_i/L_{ij})_{\text{baru}} &= \frac{C_{im} - C_i \text{ (hasil pengukuran)}}{C_{im} - C_i} \\ &= \frac{7,7 - 1,5}{7,7 - 0} \\ &= 0,81\end{aligned}$$

d. Chemical Oxygen Demand (COD)

- Baku mutu (Li) = 50 mg/L
- Konsentrasi COD (Ci) = 187 mg/L
- Ci/Li = $\frac{187}{50}$
= 3,75

Karena Ci/Li > 1 maka digunakan persamaan 2.4.

- Ci/Li = $1 + P \log (Ci/Li)$
= $1 + 5 \log (3,75)$
= 3,87

e. Biochemical Oxygen Demand (BOD₅)

- Baku mutu BOD₅ (Li) = 6 mg/L
- Konsentrasi BOD₅ (Ci) = 46,92 mg/L
- Ci/Li = $\frac{46,92}{6}$
= 7,82

Karena Ci/Li > 1 maka digunakan persamaan 2.4.

$$\begin{aligned}
 - \quad \text{Ci/Li} &= 1 + P \log (\text{Ci/Li}) \\
 &= 1 + 5 \log (7,82) \\
 &= 5,47
 \end{aligned}$$

f. $\text{NH}_3\text{-N}$

$$\begin{aligned}
 - \quad \text{Baku mutu } \text{NH}_3\text{-N} \quad (\text{Li}) &= 0,02 \text{ mg/L} \\
 - \quad \text{Konsentrasi } \text{NH}_3\text{-N} \quad (\text{Ci}) &= 0,21 \text{ mg/L} \\
 - \quad \text{Ci/Li} &= \frac{0,21}{0,02} \\
 &= 10,61
 \end{aligned}$$

Karena $\text{Ci/Li} > 1$ maka digunakan persamaan 2.4.

$$\begin{aligned}
 - \quad \text{Ci/Li} &= 1 + P \log (\text{Ci/Li}) \\
 &= 1 + 5 \log (10,61) \\
 &= 6,13
 \end{aligned}$$

g. Total phosfat Sebagai P (PO_4^{3-})

$$\begin{aligned}
 - \quad \text{Baku mutu } \text{PO}_4^{3-} \quad (\text{Li}) &= 1 \text{ mg/L} \\
 - \quad \text{Konsentrasi } \text{PO}_4^{3-} \quad (\text{Ci}) &= 1,16 \text{ mg/L} \\
 - \quad \text{Ci/Li} &= \frac{1,16}{1} \\
 &= 1,16
 \end{aligned}$$

Karena $\text{Ci/Li} > 1$ maka digunakan persamaan 2.4.

$$\begin{aligned}
 - \quad \text{Ci/Li} &= 1 + P \log (\text{Ci/Li}) \\
 &= 1 + 5 \log (1,16) \\
 &= 1,33
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas telah diketahui seluruh nilai Ci/Li sehingga dapat dihitung nilai Indeks Pencemaran (IP) berdasarkan pada persamaan 2.1. Perhitungan Indeks Pencemar titik 1 pada hari ke-1 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Ci/Li}_{\text{rata-rata}} &= 1,94 \\
 \text{Ci/Li}_{\text{maksimum}} &= 6,13
 \end{aligned}$$

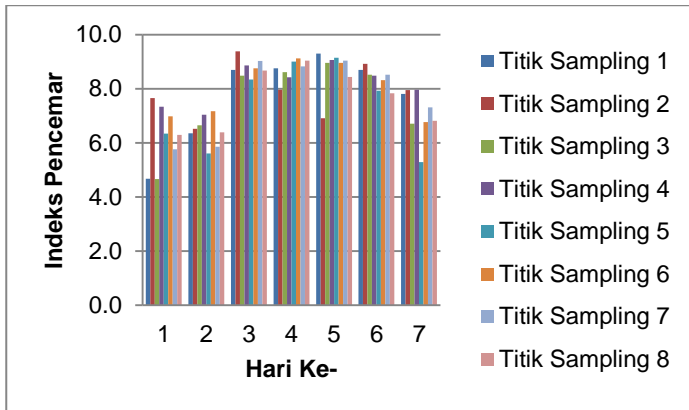
PIj

$$= \sqrt{\frac{\left(\frac{Ci}{Li_j}\right)_M^2 + \left(\frac{Ci}{Li_j}\right)_R^2}{2}}$$

$$= \sqrt{\frac{(6,13)_M^2 + (1,94)_R^2}{2}}$$

=4,5 → Cemar Ringan

Berdasarkan contoh perhitungan diatas maka secara keseluruhan nilai IP setiap titik sampel dapat dilihat pada Gambar 4.8 berikut.



Gambar 4. 8 Grafik Skor Indeks Pencemaran Bozem Morokrembangan

Sumber : Hasil Analisa (2020)

Hasil perhitungan nilai IP pada grafik tersebut menunjukkan tingkat pencemaran pada Bozem Morokrembangan yaitu cemar ringan – cemar sedang dengan nilai indeks pencemar $1,0 < PI_j \leq 5,0$. Namun, rata – rata nilai IP menyatakan bahwa Bozem Morokrembangan dalam status cemar sedang dengan rata – rata nilai IP 7,8. Pada hari ke- 1, untuk titik 1 dan titik 3 berstatus cemar ringan dengan nilai IP

pada titik 1 sebesar 4,7 dan titik 3 juga sebesar 4,7 hal ini menyatakan bahwa pada hari ke-1 pencemaran yang terjadi di Bozem Morokrembangan belum merata. Hal lain yang menyebabkan kedua titik tersebut berstatus cemar ringan yaitu adanya penurunan skor nilai IP diakibatkan konsentrasi dari parameter yang diuji rendah. Selanjutnya, pada hari ke-2 hingga hari ke-7 mengalami kenaikan skor IP dengan skor terbesar 9,4, hal ini disebabkan karena kenaikan nilai Ci/Li pada parameter yang diuji. Kenaikkan nilai Ci/Li dikarenakan kualitas yang tercemar sehingga menyebabkan nilai Ci/Li menjadi tinggi. Hasil perhitungan status mutu air dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Status Mutu Air

Titik Sam pling	Skor IP													
	Hari ke 1	Kategori	Hari ke 2	Kategori	Hari ke 3	Kategori	Hari ke 4	Kategori	Hari ke 5	Kategori	Hari ke 6	Kategori	Hari ke 7	Kategori
1	4,7	cemar ringan	6,4	cemar sedang	8,7	cemar sedang	8,8	cemar sedang	9,3	cemar sedang	8,7	cemar sedang	7,8	cemar sedang
2	7,7	cemar sedang	6,5	cemar sedang	9,4	cemar sedang	8,0	cemar sedang	6,9	cemar sedang	8,9	cemar sedang	7,9	cemar sedang
3	4,7	cemar ringan	6,7	cemar sedang	8,5	cemar sedang	8,6	cemar sedang	9,0	cemar sedang	8,5	cemar sedang	6,7	cemar sedang
4	7,3	cemar sedang	7,0	cemar sedang	8,9	cemar sedang	8,4	cemar sedang	9,1	cemar sedang	8,5	cemar sedang	8,0	cemar sedang
5	6,3	cemar sedang	5,6	cemar sedang	8,3	cemar sedang	9,0	cemar sedang	9,1	cemar sedang	7,9	cemar sedang	5,3	cemar sedang
6	7,0	cemar sedang	7,2	cemar sedang	8,8	cemar sedang	9,1	cemar sedang	9,0	cemar sedang	8,3	cemar sedang	6,8	cemar sedang
7	5,8	cemar sedang	5,9	cemar sedang	9,0	cemar sedang	8,8	cemar sedang	9,0	cemar sedang	8,5	cemar sedang	7,3	cemar sedang
8	6,3	cemar sedang	6,4	cemar sedang	8,7	cemar sedang	9,0	cemar sedang	8,4	cemar sedang	7,8	cemar sedang	6,8	cemar sedang

Sumber: Hasil Perhitungan (2020)

Berdasarkan Tabel 4.3 diatas dapat disimpulkan bahwa kualitas air Bozem Morokrengan dalam kategori cemar sedang. Kategori cemar sedang dijelaskan dengan nilai indeks pencemaran yang melewati batas nilai indeks pada $5,1 < PIj \leq 10$. Nilai indeks pencemaran tertinggi yaitu 8,2 dan terendah 7,4. Tinggi dan rendahnya nilai IP dipengaruhi oleh konsentrasi kualitas air yang fluktuatif sehingga menyebabkan nilai Ci/Lij menjadi tinggi dan rendah.

4.3. Sub Sistem Dinamik Kualitas Air Bozem Morokrengan

Sub sistem dinamik disusun berdasarkan sumber pencemar dari data kualitas air yang diperoleh berdasarkan hasil analisis. Sub sistem dinamik bertujuan untuk memperoleh jumlah Potensi Beban Pencemaran (PBP) yang masuk kedalam perairan Bozem Morokrengan. Sub sistem dinamik dibangun berdasarkan sumber pencemar yang telah diidentifikasi menurut pada hasil survey lapangan, hasil wawancara pada petugas Bozem morokrengan yang digunakan sebagai data kuantitatif, serta menggunakan data sekunder. Selain itu, penentuan sub sistem dinamik pencemar Bozem Morokrengan dibangun berdasarkan presentasi *catchment area* terhadap besarnya potensi pencemaran yang masuk kedalam Bozem. Berdasarkan data BPS Kecamatan Krengan 2019 diperoleh, wilayah kecamatan krengan dipadati oleh 80% area pemukiman, 9% area industri, 8% area perdagangan dan pergudangan, 2% area pasar, dan 1% area puskesmas.

Berdasarkan uraian diatas, sub sistem dinamik kualitas air Bozem Morokrengan dibangun berdasarkan *catchment area* yang merupakan daerah dari DAD pada sekitar Bozem. Area DAD pada sekitar bozem berasal dari daerah pemukiman dan industri yang mana aliran limbahnya sebagian masuk kedalam saluran drainase dan sebagian masuk kedalam bozem. Debit air limbah yang dihasilkan oleh pemukiman dan industri lebih besar dibandingkan debit perdagangan dan pergudangan, puskesmas, serta pasar. Sehingga dalam penelitian ini sub sistem dinamik kualitas air disusun berdasarkan sub pencemar pemukiman dan industri. Selain itu, penyusunan sub sistem dinamik kualitas air

juga meliputi inlet bozem untuk memperoleh beban pencemaran pada inlet bozem. Selanjutnya, hasil dari ketiga sub model sumber pencemar tersebut dibutuhkan simulasi model untuk memperoleh upaya pengelolaan Bozem Morokrempangan.

4.3.1. Sub Model Analisis Beban Pencemaran Inlet Bozem Morokrempangan

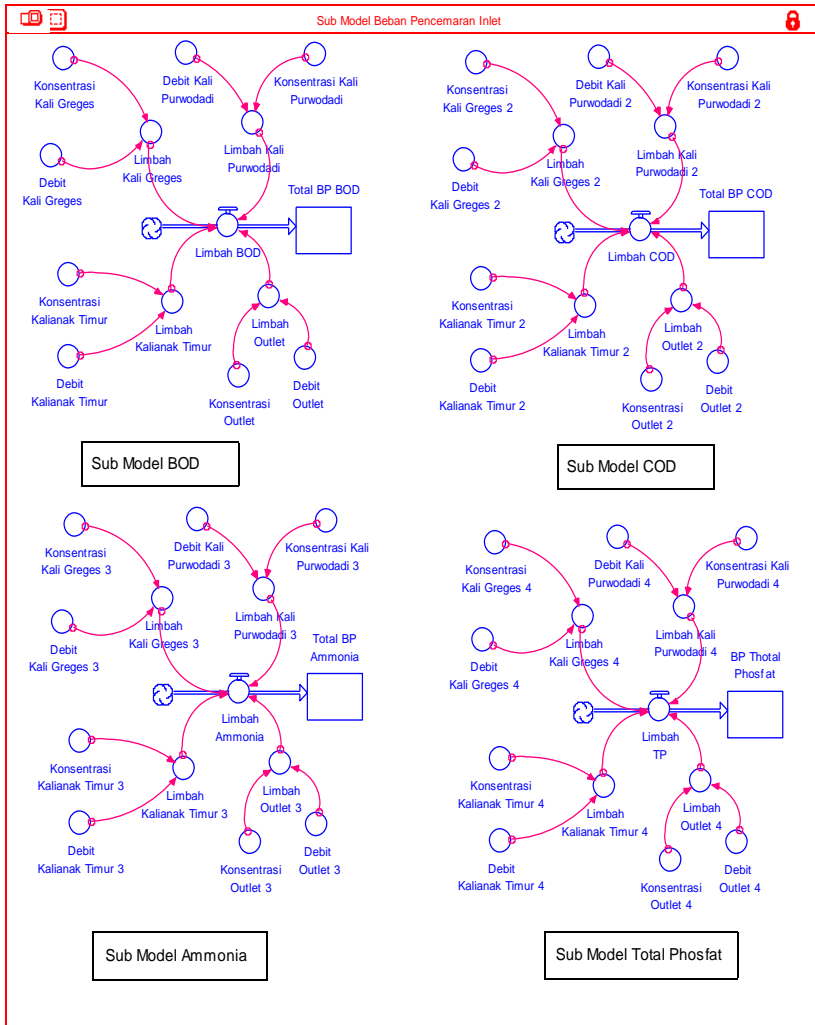
Sub model beban pencemaran inlet ditentukan berdasarkan inlet yang menuju pada Bozem Morokrempangan. Menurut data gambar saluran drainase Dinas PU Bina Marga Kota Surabaya tahun 2020, terdapat tiga saluran drainase utama yang menuju ke Bozem Morokrempangan. Saluran drainase tersebut meliputi Kali Greges, Kali Purwodadi, dan Saluran Kalianak Timur. Berdasarkan Peraturan Daerah (PERDA) Kota Surabaya No.02 Tahun 2004, Kali Greges dan Kali Purwodadi ditetapkan sebagai status air kelas IV. Kedua saluran tersebut terletak pada bagian selatan bozem yang akan mengalir menuju ke bagian utara bozem sehingga dapat mempengaruhi pencemaran pada sisi utara bozem. Oleh sebab itu, kualitas sisi utara bozem dipengaruhi oleh limbah yang masuk kedalam sisi selatan bozem. Perhitungan beban pencemaran meliputi bagian selatan bozem yaitu Kali Greges, Kali Purwodadi, Saluran Kalianak Timur, dan Outlet Bozem Morokrempangan pada Pintu Air Morokrempangan yang berada pada titik 6 pengambilan sampel. Sedangkan bagian utara bozem merupakan akumulasi dari perhitungan beban pencemaran dari bagian selatan bozem, hal ini dikarenakan beberapa kendala dan keterbatasan data sekunder yang diperoleh. Perhitungan analisis beban pencemaran menggunakan rumus pada sub bab 2.3.3 serta data debit yang digunakan merupakan data sekunder dikarenakan kondisi yang tidak memungkinkan untuk melakukan pengukuran debit pada saluran inlet dan outlet bozem. Data debit pada analisis beban pencemaran dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Debit Inlet dan Outlet Bozem Morokrembangan

Hari Ke-	Debit (m ³ /detik)			
	Kali Greges	Kali Purwodadi	Saluran Kalianak Timur	Outlet
1	3,46	0,51	0,51	1,82
2	3,46	0,51	0,51	1,82
3	3,46	0,51	0,51	1,82
4	3,46	0,51	0,51	1,82
5	3,46	0,51	0,51	1,82
6	3,46	0,51	0,51	1,82
7	3,46	0,51	0,51	1,82

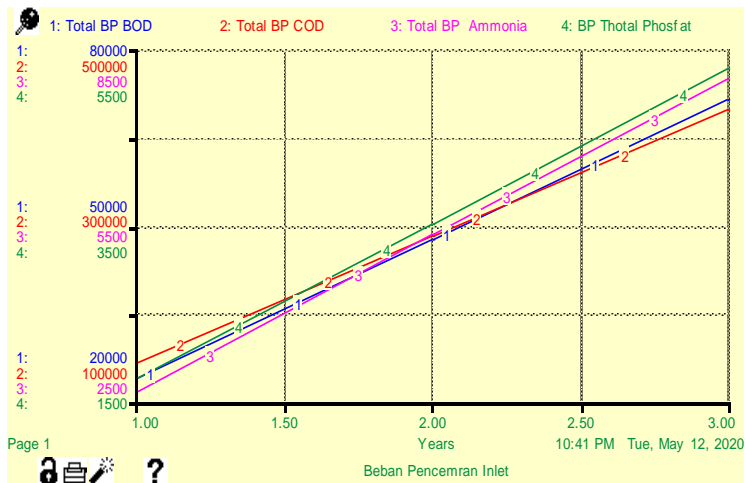
Sumber: Hananta, (2016)

Berdasarkan tabel diatas, debit inlet terbesar di Kali Greges dan terendah pada Saluran Kalianak Timur. Debit pada Saluran Kalianak Timur mengikuti data debit pada Kali Purwodadi dikarenakan keterbatasan pada data sekunder serta lebar saluran yang hampir sama. Besar dan kecilnya debit dipengaruhi oleh luas penampang saluran (A) dan kecepatan aliran (V). Semakin besar debit air sungai yang masuk ke danau, maka semakin tinggi kemungkinan terjadi peningkatan konsentrasi beban pencemaran yang masuk apabila daratannya banyak menghasilkan limbah. Namun sebaliknya, akan terjadi penurunan konsentrasi bahan pencemar karena pengenceran apabila daratannya relatif sedikit limbah (Iriadi, 2015). Sub model beban pencemaran inlet disusun berdasarkan parameter pencemaran yaitu BOD, COD, Ammonia, dan Total Phosfat. Beban pencemaran inlet diperoleh dari hasil perkalian debit dan konsentrasi masing – masing parameter yang digunakan sebagai *converter*. Hasil perkalian antara *converter* akan menghasilkan *flow* (aliran) yang akan menghasilkan *stock*. *Stock* merupakan akumulasi akibat masuknya beban pencemaran yang berasal dari *flow*. Sub model beban pencemaran inlet Bozem Morokrembangan disajikan pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Sub Model Beban Pencemaran Inlet Bozem
Sumber: Hasil Analisis (2020)

Analisis beban pencemaran inlet Bozem Morokrempangan bertujuan untuk memperoleh besarnya buangan limbah yang terbawa didalam saluran inlet pada kondisi eksisting waktu penelitian. Pencemaran yang terjadi di Bozem Morokrempangan dipengaruhi oleh masuknya beban pencemaran kedalam Bozem. Beban pencemaran dipengaruhi oleh konsentrasi pencemar dan debit saluran inlet. Berdasarkan Gambar 4.9 diatas menjelaskan sub model beban pencemaran dari keempat inlet Bozem Morokrempangan yaitu Kali Greges, Kali Purwodadi, Saluran Kalianak Timur, dan Outlet Bozem. Sub model tersebut disusun berdasarkan konsentrasi kualitas air meliputi BOD, COD, NH_3 dan Total Phosfat. Beban pencemaran dari masing – masing inlet merupakan hasil perkalian konsentrasi masing – masing parameter dengan debit. Analisis beban pencemaran inlet Bozem Morokrempangan disusun pada periode 2020 – 2022. Hasil perhitungan total beban pencemaran Bozem Morokrempangan dapat dilihat pada Gambar Grafik 4.10 berikut.



Gambar 4. 10 Beban Pencemaran Inlet Bozem Morokrempangan
Sumber: Hasil Analisis (2020)

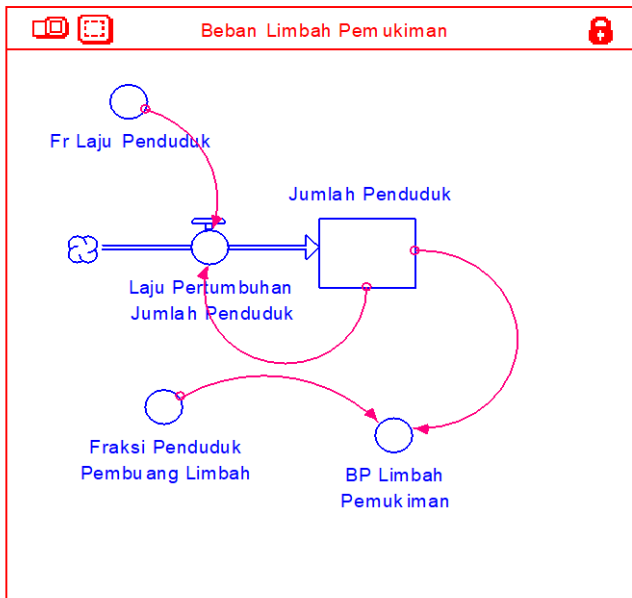
Berdasarkan Gambar Grafik 4.10 diatas menjelaskan peningkatan total beban pencemaran yang terjadi secara linear. Grafik linear tersebut menjelaskan bahwa selalu terjadi peningkatan beban pencemaran yang berasal dari inlet, artinya inlet yang masuk kedalam Bozem memiliki beban pencemaran yang konstan akibat aliran limbah. Total beban pencemaran yang masuk kedalam Bozem Morokrembangan dengan parameter tertinggi COD pada awal tahun simulasi sebesar 143.863 Ton/tahun dan diikuti dengan parameter BOD₅ sebesar 23.808 Ton/tahun, Ammonia sebesar 2.667 Ton/tahun, dan Total fosfat sebesar 1.762 Ton/tahun. Jumlah beban pencemaran yang tinggi berasal dari Kali Grege dengan konsentrasi COD sebesar 87.818 Ton/tahun, BOD sebesar 13.560 Ton/tahun, Ammonia sebesar 1.550 Ton/tahun, dan Total fosfat sebesar 904 Ton/tahun. Konsentrasi yang tinggi pada Kali Grege disebabkan saluran ini membawa aliran air limbah yang berasal dari pemukiman dan melewati wilayah perkotaan.

Selanjutnya, beban pencemaran dengan parameter COD menunjukkan banyaknya limbah yang terkonsentrasi pada dasar bozem akibat adanya sedimentasi, baik limbah yang berasal dari limbah domestik maupun limbah akibat proses vegetasi yang telah teroksidasi secara kimia. Sedimentasi diakibatkan karena proses pengendapan pada butir – butir tanah yang telah hanyut atau terangkut air pada tempat – tempat yang lebih rendah. Peningkatan produksi sedimen di daerah tangkapan waduk biasanya dipengaruhi oleh buruknya kondisi DAS diatas waduk itu sendiri. Kondisi DAS yang buruk mendorong peningkatan erosi lahan yang menjadi sumber produksi sedimen (Marhendi, 2013). Sedangkan, konsentrasi BOD₅ yang tinggi pada Saluran Kali Grege disebabkan karena banyaknya aktivitas warga pada saluran tersebut yang digunakan sebagai tempat pembuangan sisa mandi dan cuci yang mengandung deterjen juga sebagian warga digunakan sebagai saluran pembuangan air WC. Kemudian beban pencemaran yang tinggi juga berasal pada Saluran Kali Purwodadi dan Saluran Kalianak Timur disebabkan karena banyaknya tumpukan sampah plastik maupun sisa makanan yang berasal dari pemukiman. Hal tersebut dijelaskan dengan hasil dokumentasi yang disajikan pada lampiran VI.

Berdasarkan analisis sub model beban pencemaran inlet Bozem Morokrempangan dapat disimpulkan bahwa pencemaran tertinggi yang masuk kedalam Bozem Morokrempangan berasal dari Saluran Kali Greges yang disebabkan akibat masuknya buangan limbah domestik yang berasal dari pemukiman area bozem. Beban pencemaran yang berasal dari Kali Greges menghasilkan konsentrasi kualitas air dengan konsentrasi BOD 13.560 Ton/tahun, konsentrasi COD sebesar 87.818 Ton/tahun, konsentrasi ammonia 1.550 Ton/tahun, dan konsentrasi Total Phosfat sebesar 904 Ton/tahun.

4.3.2. Sub Model Pemukiman Terhadap Kualitas Air Bozem Morokrempangan

Sub model beban pencemaran pemukiman dibangun berdasarkan jumlah penduduk sebagai penghasil limbah. Pada wilayah penelitian, pemukiman penduduk merupakan penyumbang limbah terbesar karena kepadatan penduduk yang tinggi. Jumlah penduduk di sekitar Bozem Morokrempangan merupakan peubah "*Stock*" dengan jumlah penduduk awal simulasi menggunakan data pada tahun 2011 sebesar 124.797 jiwa. Laju perubahan penduduk merupakan peubah "*flow*" dengan fraksi pertumbuhan penduduk merupakan peubah "*converter*" dengan angka 0,000057 yang diperoleh dari rata – rata pertumbuhan penduduk pada periode 2011 – 2018. Menurut hasil pengolahan data penduduk Kecamatan Krempangan, rata – rata pertumbuhan penduduk disekitar Bozem Morokrempangan 0,05% per tahun atau 0,00416% per bulan. Rata – rata pertumbuhan tersebut menunjukkan bahwa terdapat penurunan dan peningkatan jumlah penduduk yang disebabkan karena adanya jumlah kematian, kelahiran, penduduk yang berpindah, dan penduduk yang datang. Sub model beban pencemaran limbah pemukiman disajikan pada Gambar 4.11. serta hasil analisis dapat dilihat pada lampiran IV Tabel 4.1



Gambar 4. 11 Sub Model Beban Pencemaran Limbah Pemukiman
Sumber: Hasil Analisi (2020)

Berdasarkan Gambar 4.9 diatas menjelaskan sub model terhadap beban limbah yang dihasilkan oleh wilayah pemukiman yang berada di sekitar area Bozem Morokrembangan. Sub model limbah pemukiman diatas menjelaskan limbah yang dihasilkan dari peningkatan jumlah penduduk yang merupakan *stock* pada simulasi model tersebut. *Stock* merupakan akumulasi penduduk dari hasil simulasi pada periode 2011 – 2022. Peningkatan jumlah penduduk dipengaruhi oleh *converter* pada fraksi laju penduduk dan *flow* yang merupakan laju pertumbuhan penduduk pada setiap pada setiap tahunnya.

Analisis sub model beban pencemar akibat limbah pemukiman dianalisis dengan perkiraan setiap tahunnya untuk memperoleh peningkatan beban pencemaran. Jumlah beban pencemaran yang dihasilkan dari buangan limbah pemukiman

pada hasil akhir simulasi model yaitu pada tahun 2022 rata – rata sebesar 99.868 Kg/Tahun atau 99,868 Ton/tahun. Sehingga dapat disimpulkan bahwa beban pencemaran yang dihasilkan oleh pemukiman rata – rata per tahunnya sebesar 100 Ton/tahun. Hasil Analisis setiap tahunnya dijelaskan pada lampiran VI. Sub model beban pencemaran pemukiman dengan peubah “*flow*” digunakan untuk menghitung Potensi Beban Pencemaran (PBP) pemukiman yang mempengaruhi kualitas perairan Bozem Morokrempangan. Potensi Beban Pencemaran (PBP) dihitung menggunakan faktor emisi (FE), koefisien transfer, dan Rasio Ekuivalen Kota (REK) (Syadzadhiya, 2019). Potensi Beban Pencemaran (PBP) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\text{PBP Domestik} = \text{Jumlah Penduduk} \times \text{FE} \times \text{REK} \times \text{transfer beban... (4.1)}$$

Dalam penelitian ini, wilayah penelitian merupakan wilayah pinggiran kota sehingga Rasio Ekuivalen Kota (REK) menggunakan 0,8125 (Syadzadhiya, 2019). Sedangkan untuk koefisien transfer menggunakan nilai 0,85 disebabkan pada beberapa wilayah didaerah penelitian tanpa pengolahan limbah domestik dan langsung dibuang ke drainase (KLHK, 2016) disekitar Bozem Morokrempangan terutama pada wilayah kelurahan Dupak. Sedangkan untuk faktor emisi (FE) pada masing – masing parameter beban pencemaran dapat dilihat pada Tabel 4.4.

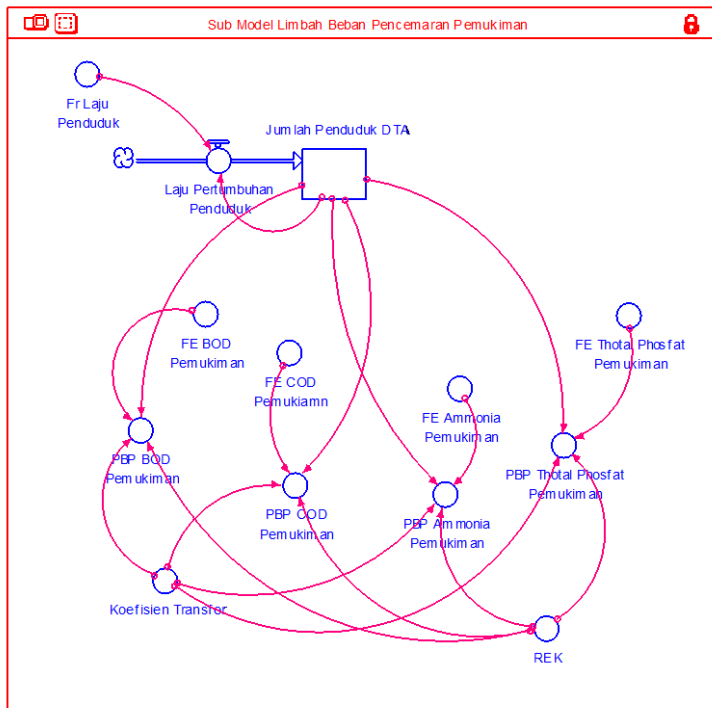
Tabel 4.4 Faktor Emisi Beban Pencemaran Limbah Domestik

Polutan	Faktor Emisi (gr/hari)	Faktor Emisi (Kg/bulan)
BOD	27	0,81
COD	55	1,65
NH ₄ – N	1,8	0,054
PO ₄ ⁻ - P	0,17	0,0051

Sumber: KLHK (2016)

Berdasarkan faktor – faktor tersebut maka dapat disusun sub model sumber beban pencemaran pemukiman yang dianalisis terhadap beban pencemaran kualitas air. Analisis sub model

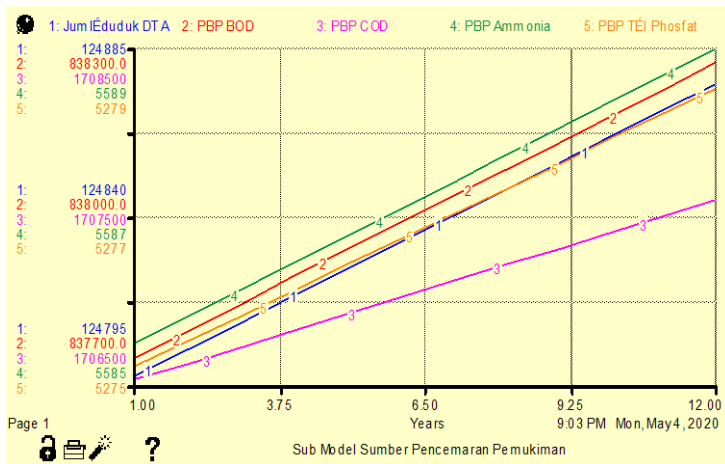
sumber pencemar pemukiman dianalisis pada peningkatan setiap tahunnya. Hasil peningkatan beban pencemaran setiap tahunnya pada sumber beban pencemaran pemukiman dijelaskan dalam lampiran IV. Selanjutnya sub model sumber beban limbah pencemaran pemukiman pembahasan ini dijelaskan pada Gambar 4.12.



Gambar 4. 12 Sub model beban pencemaran pemukiman
Sumber: Hasil Analisis (2020)

Berdasarkan gambar sub model beban pencemaran limbah pemukiman diatas, maka akan dihasilkan beban pencemaran yang didapatkan dari hasil perkalian jumlah penduduk daerah tangkapan danau dengan fraksi laju penduduk (Fr). Jumlah

penduduk Daerah Tangkapan Air (DTA) akan menghasilkan limbah yang berasal dari aktivitas sehari – hari sehingga dapat menyebabkan terjadinya Potensi Beban Pencemaran (PBP) pada setiap parameter yang dianalisis. Peningkatan jumlah Potensi Beban Pencemaran (PBP) pada sub model sumber pemukiman dapat dilihat pada Gambar 4.13.



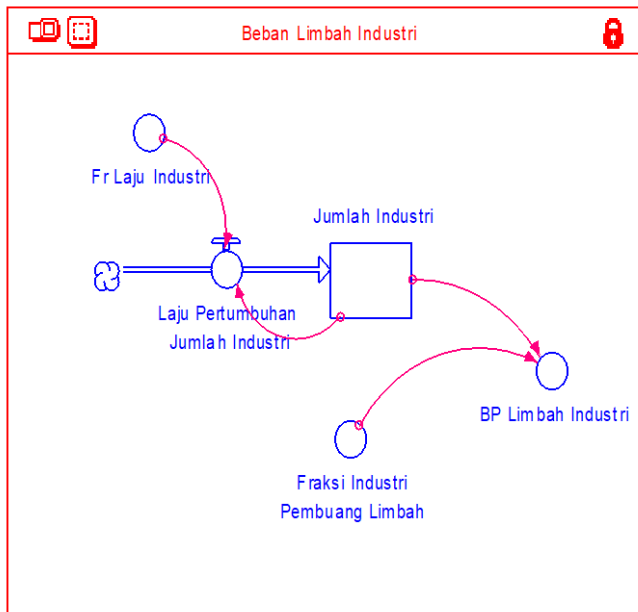
Gambar 4. 13 Grafik Beban Limbah Pencemaran Pemukiman
Sumber: Hasil Analisis (2020)

Gambar grafik diatas menjelaskan peningkatan Potensi Beban Pencemaran (PBP) yang dihasilkan oleh pemukiman yang berada pada Daerah Tangkapan Air (DTA) yang terjadi pada setiap tahunnya. Gambar grafik diatas menjelaskan peningkatan potensi pencemaran yang dihasilkan oleh limbah pemukiman terhadap parameter BOD, Ammonia, dan Total Phosfat relatif konstan, artinya peningkatan beban pencemaran pada ketiga parameter tersebut pada simulasi setiap tahunnya mengalami kenaikan yang tidak begitu signifikan. Sedangkan, pada parameter COD mengalami perubahan peningkatan beban pencemaran yang cukup fluktuatif sehingga dapat mengalami penurunan dan peningkatan beban pencemaran yang artinya

selisih peningkatan dan penurunan beban yang masuk cukup signifikan. Hasil analisis menunjukkan limbah yang dihasilkan oleh pemukiman menyebabkan potensi pencemaran terbesar pada parameter COD dengan konsentrasi rata-rata yaitu 1.707 Ton/tahun dengan jumlah penduduk penghasil limbah pada akhir tahun simulasi sebesar 124.875 jiwa pada Daerah Tangkapan Air (DTA). Selanjutnya, PBP yang dihasilkan dari area pemukiman juga menyebabkan potensi pencemaran dengan konsentrasi rata-rata BOD₅ sebesar 838 Ton/tahun, ammonia sebesar 5,6 Ton/tahun, dan Total fosfat 5,3 Ton/tahun.

4.3.3. Sub Model Industri Terhadap Kualitas Air Bozem Morokrengan

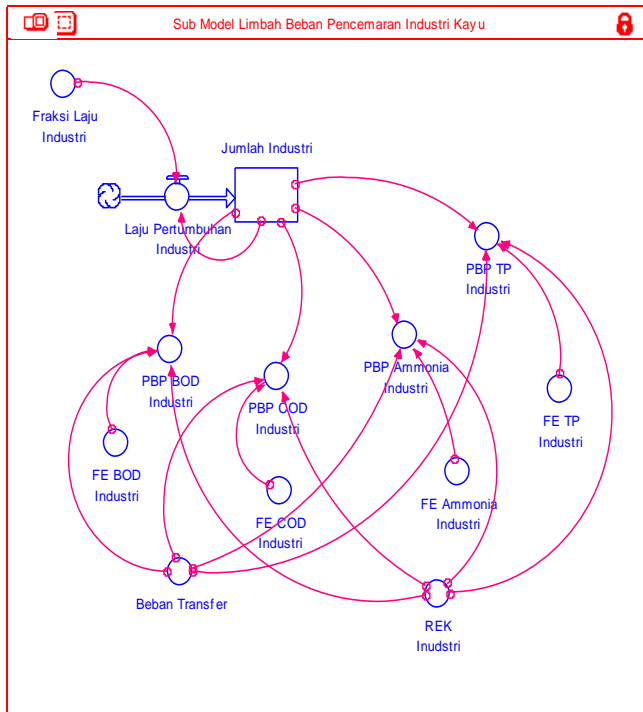
Sub model beban pencemaran limbah industri disusun berdasarkan jumlah industri yang berada disekitar daerah Bozem Morokrengan. Dalam penelitian ini sub pencemar industri yang digunakan sebagai pencemar dominan pada DTA Bozem Morokrengan merupakan industri kayu berskala sedang. Identifikasi tersebut didasarkan pada hasil pengamatan pada saat melakukan survey. Pada penyusunan sub model limbah industri kayu, jumlah industri kayu digunakan sebagai “*stock*” sebanyak 14 industri. Laju pertumbuhan industri merupakan peubah “*flow*” dan fraksi pertumbuhan industri diambil dari rata-rata pertumbuhan industri sebagai peubah “*converter*” dengan angka 0,0025. Sub model beban pencemaran industri dapat dilihat pada Gambar 4.14 dan hasil analisis simulasi model beban pencemaran setiap tahunnya dapat dilihat pada lampiran IV Tabel 4.2



Gambar 4. 14 Sub Model Pencemaran Limbah Industri
Sumber: Hasil Analisis (2020)

Berdasarkan sub model pada Gambar 4.14. menjelaskan beban pencemaran yang dapat diakibatkan oleh buangan limbah dari industri. Pencemaran yang dihasilkan oleh sumber pencemar industri disebabkan dari faktor laju pertumbuhan industri. Jumlah pencemaran yang diakibatkan oleh buangan limbah industri pada hasil akhir analisis model rata – rata 2,837 Kg/tahun atau sebesar 0,0028 Ton/tahun. Beban pencemaran sumber industri akan mempengaruhi kualitas air pada perairan Bozem Morokrembangan sehingga dapat menimbulkan adanya potensi pencemaran. Perhitungan Potensi Beban Pencemaran (PBP) limbah industri kayu menggunakan rumus pada persamaan berikut.

$$PBP = \text{Jumlah industri kayu} \times FE \times REK \times \text{beban transfer} \dots (4.2)$$



Gambar 4. 15 Sub model beban pencemaran industri
Sumber: Hasil Analisis (2020)

Berdasarkan Gambar 4.15 diatas peningkatan jumlah industri menyebabkan terjadinya potensi beban pencemaran pada parameter BOD, COD, Ammonia, dan Total phosfat. Analisis Potensi Beban Pencemaran (PBP) industri kayu menggunakan beban transfer yaitu 0,85 dan nilai REK 0,8125. Nilai beban transfer dan REK yang digunakan pada analisis industri dianggap sama dengan analisis beban pencemaran pemukiman dikarenakan jumlah industri yang terletak sangat

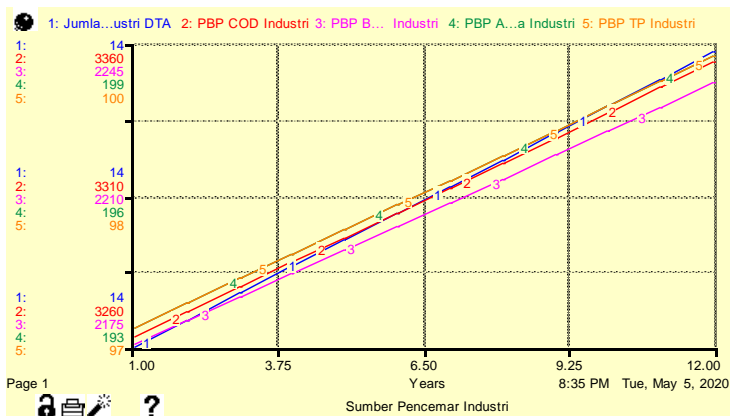
dekat dengan bozem (Syadzadhiya, 2019). Faktor emisi industri kayu pada setiap parameter disajikan pada Tabel 4.4. berikut.

Tabel 4.4 Faktor Emisi Indutrsi Kayu

Polutan	Faktor Emisi (Kg/ha)
BOD	225
COD	337,5
NH ₄ – N	20
PO ₄ ⁻ - P	10

Sumber: KLHK (2016)

Pencemaran yang terjadi akibat buangan limbah industri sangat berpengaruh terhadap kualitas perairan bozem. Buangan limbah yang secara langsung dibuang ke dalam saluran drainase tanpa pengolahan akan mengakibatkan semakin banyak sedimentasi di dalam perairan. Hasil analisis sub model sumber pencemar industri pada setiap tahunnya dilampirkan pada Lampiran IV. Sedangkan peningkatan beban pencemar industri dijelaskan pada Gambar 4.16 berikut.



Gambar 4. 16 Grafik Beban Limbah Penemaran Industri
Sumber: Hasil Analisis (2020)

Gambar 4.16 diatas menunjukkan grafik pencemaran limbah industri yang linear. Peningkatan grafik pencemaran yang linear menunjukkan peningkatan beban pencemaran yang dihasilkan oleh industri tersebut mengalami peningkatan pencemaran yang konstan, artinya peningkatan beban pencemaran berdasarkan hasil simulasi model tidak signifikan pada setiap tahun. Potensi Beban Pencemaran tertinggi yang dihasilkan oleh industri kayu adalah PBP pada parameter COD dengan rata – rata konsentrasi sebesar 3.308 Kg/tahun atau 3,31 Ton/tahun. Kemudian pencemaran yang disebabkan oleh industri tersebut juga mengakibatkan potensi pencemaran terhadap parameter BOD dengan rata – rata konsentrasi sebesar 2,21 Ton/tahun, NH_3 sebesar 0,20 Ton/tahun, dan Total fosfat sebesar 0,1 Ton/tahun. Konsentrasi pencemaran yang tinggi dengan jumlah industri yang konstan diperkirakan karena buangan yang berasal dari Bozem bagian selatan. Hal ini dikarenakan letak industri yang berada didekat Pintu Air Bozem Morokrempangan sehingga dapat terakumulasi. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa limbah yang berasal dari industri menghasilkan Potensi Beban Pencemaran (PBP) tertinggi atau dominan pada parameter COD dengan nilai konsentrasi sebesar 3,31 Ton/tahun.

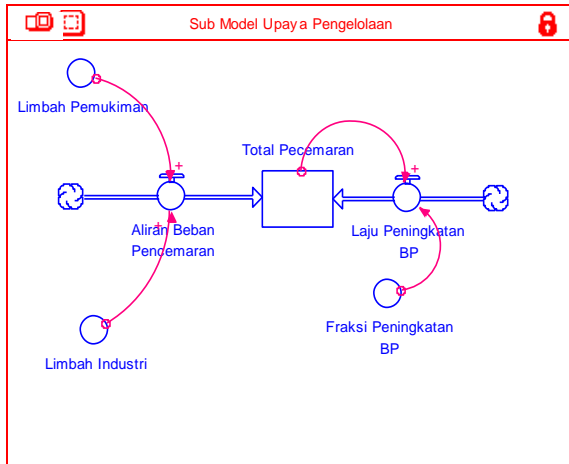
Berdasarkan hasil simulasi dari sub - sub model tersebut, dapat disimpulkan bahwa penyumbang beban pencemaran terbesar pada perairan Bozem Morokrempangan yaitu berasal dari area pemukiman dengan total beban pencemaran sebesar 99,868 Ton/tahun. Menurut hasil wawancara yang dilakukan bersama Petugas DKRTH di Bozem Morokrempangan, bahwa terdapat beberapa aktivitas masyarakat yang menyebabkan terjadinya pencemaran pada perairan bozem diantaranya, jamban di sebagian rumah warga yang mengalir langsung kedalam inlet maupun langsung kedalam bozem serta bozem dijadikan sebagai tempat pembuangan sampah. Oleh sebab itu, perlu dilakukan upaya pengelolaan terhadap pencemaran Bozem Morokrempangan.

4.4. Upaya Pengelolaan Kualitas Perairan Bozem Morokrembangan Dengan Aspek Teknis Menggunakan Pendekatan Sistem Dinamik

Upaya pengelolaan terhadap kualitas perairan Bozem Morokrembangan disusun berdasarkan pendekatan sistem dinamik dengan membangun diagram alir model sumber pencemar yang telah diidentifikasi pada sub bab 3.6. Upaya pengelolaan dalam penelitian ini bertujuan sebagai langkah untuk mengembalikan status mutu air Bozem Morokrembangan dari mutu air kelas IV menjadi mutu air kelas III sebagaimana dengan pemanfaatannya sebagai mutu air kelas III. Dalam upaya pengelolaan kualitas air perairan Bozem Morokrembangan disusun berdasarkan beberapa langkah meliputi penyusunan sub model diagram alir beban pencemar, uji validasi model, penyusunan skenario upaya pengelolaan, dan analisis terhadap skenario upaya pengelolaan.

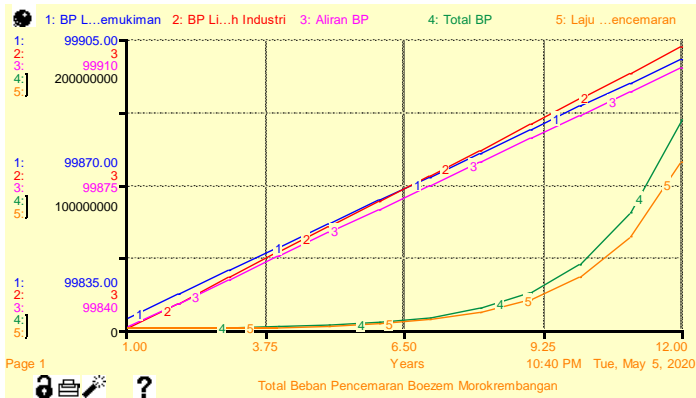
4.4.1. Sub Model Diagram Alir Pengelolaan Bozem Morokrembangan

Sub model pengelolaan kualitas air perairan Bozem Morokrembangan disusun berdasarkan dua sub model sumber pencemar yang terdiri dari sumber pencemar pemukiman dan sumber pencemar industri. Berdasarkan kedua sub model sumber pencemar tersebut akan terintegrasi menjadi sebuah “*stock*” yaitu berupa total beban pencemaran pada perairan Bozem Morokrembangan. Diagram alir sub model pengelolaan pencemaran Bozem Morokrembangan disajikan pada Gambar 4.17.



Gambar 4. 17 Sub Diagram Alir Model Upaya Pengelolaan Bozem Morokrembangan
Sumber: Hasil Analisis (2020)

Sub diagram alir model pada Gambar 4.17 diatas menjelaskan upaya pengelolaan yang perlu dilakukan akibat aliran beban pencemaran yang merupakan penjumlahan dari limbah pemukiman dan limbah industri sehingga menghasilkan total beban pencemaran dalam perairan Bozem Morokrembangan. Limbah pemukiman dan limbah industri merupakan peubah *converter* yang mempengaruhi aliran beban pencemaran (*flow*). Tanda (+) pada aliran limbah pemukiman dan limbah industri menjelaskan peningkatan beban penemaran terhadap peubah *stock*. Dalam diagram sub model tersebut menunjukkan laju peningkatan beban pencemaran yang dihasilkan dari total beban pencemaran yang semakin meningkat akibat masuknya buangan limbah. Analisis upaya pengelolaan berdasarkan simulasi sub model bertujuan untuk melihat kondisi pada masa mendatang. Hasil analisis peningkatan total beban pencemaran disajikan pada Gambar 4.18.



Gambar 4. 18 Grafik Total Beban Pencemaran
Sumber : Hasil Analisis (2020)

Gambar 4.18 diatas menjelaskan grafik total beban pencemaran limbah pemukiman dan limbah industri memiliki garis yang linear. Garis linear tersebut menunjukkan peningkatan beban limbah pencemaran yang dihasilkan oleh sumber pencemar pemukiman dan sumber pencemar industri pada setiap tahunnya memiliki peningkatan yang relatif sama. BP limbah pemukiman dan BP limbah industri yang masuk kedalam bozem akan mempengaruhi aliran (*flow*) yang merupakan total aliran dari kedua pencemar tersebut. Selanjutnya, garis hiperbola pada total BP dan laju peningkatan beban pencemaran dipengaruhi oleh fraksi beban pencemaran. Laju peningkatan BP mempengaruhi total beban pencemaran yang merupakan *stock* atau akumulasi dari sistem sub model tersebut. Sehingga peningkatan total beban pencemaran akan berbanding lurus dengan kenaikan laju peningkatan BP.

Hasil analisis pada simulasi model tersebut menjelaskan peningkatan total beban pencemaran yang diakibatkan oleh beban limbah pemukiman pada simulasi awal tahun sebesar 99.830 Kg/tahun atau 99,83 Ton/tahun. Pencemaran yang disebabkan oleh limbah pemukiman terus meningkat dipengaruhi oleh peningkatan jumlah penduduk dengan presentasi pertumbuhan penduduk sebesar 0,05% rata - rata setiap

tahunnya. Pada akhir simulasi diperoleh beban pencemaran limbah pemukiman yaitu 99,90 Ton/tahun. Gambar 4.18 menunjukkan peningkatan yang terjadi pada masa mendatang yang disimulasikan pada peningkatan setiap tahunnya. Kemudian peningkatan beban pencemaran yang disebabkan oleh buangan industri dihasilkan pada awal simulasi sebesar 2,80 Kg/tahun atau 0,0028 Ton/tahun dan terjadi peningkatan pada akhir simulasi sebesar 2,88 Kg/tahun. Peningkatan jumlah limbah yang dihasilkan oleh industri diperkirakan karena pembuangan limbah yang langsung pada perairan bozem.

Aliran beban pencemaran dalam penelitian ini menjelaskan aliran yang berasal dari sumber pencemar yaitu sumber pencemar pemukiman dan sumber pencemar industri. Aliran beban pencemaran dalam sub model diatas merupakan penjumlahan dari beban limbah pemukiman dan beban limbah industri. Aliran beban pencemaran merupakan total beban pencemaran dari sub pencemar. Dalam analisis simulasi model tersebut total beban pencemaran akan berbanding lurus dengan peningkatan laju beban pencemaran. Laju peningkatan beban pencemaran dipengaruhi oleh fraksi peningkatan beban pencemaran serta peningkatan total beban pencemaran. Pada akhir simulasi diperoleh total beban pencemaran dengan rata – rata konsentrasi sebesar 26.932 Ton/tahun dengan aliran beban pencemaran yang masuk sebesar 91.550 Ton/tahun. Hasil analisis beban peningkatan total beban pencemaran dilampirkan pada lampiran IV Tabel 4.5

Beban limbah yang masuk kedalam perairan Bozem Morokrembangan akan mempengaruhi kualitas perairan Bozem. Berdasarkan hasil analisis dengan beban limbah yang masuk dihasilkan Potensi Beban Pencemaran (PBP) pada parameter COD dengan rata – rata konsentrasi sebesar 1.710,36 ton/tahun, BOD sebesar 840,21 Ton/tahun, Ammonia sebesar 5,78 Ton/tahun dan Total phosfat sebesar 5,37 Ton/tahun.

Berdasarkan uraian tersebut dapat disimpulkan bahwa beban limbah yang berasal dari pemukiman maupun industri dapat mempengaruhi kualitas air bozem sehingga menyebabkan Potensi Beban Pencemaran (PBP) yang tinggi pada setiap tahunnya. Hal tersebut dibuktikan dengan hasil simulasi sub

model total beban pencemaran yang disajikan pada lampiran IV Tabel 4.6.

4.4.2. Uji Validitas Model

Dalam penelitian ini, simulasi model direncanakan pada tahun 2011 – 2022. Simulasi model dipengaruhi oleh jumlah data dan hasil validitas data. Semakin banyak data yang diperoleh maka akan semakin bagus tingkat akurasi sebuah model, disebabkan jumlah data merupakan sarana untuk mendefinisikan dan menganalisis model sehingga dapat merencanakan waktu simulasi model. Simulasi model yang dibangun harus bersifat kredibel yang dapat ditunjukkan dengan validasi model. Validasi model dapat membuktikan bahwa model yang dibangun dapat digunakan sesuai dengan lamanya perencanaan simulasi model.

Validasi adalah pernyataan terhadap representasi tingkat akurat sistem model yang dibangun. Validasi merupakan sebuah tahapan pada suatu sistem model untuk memperoleh informasi gambaran apakah model yang dibuat telah sesuai dengan sistem yang mewakilinya. Tahapan pada proses validasi model ini harus mengikuti setiap tahapan permodelan untuk meyakini kebenarannya. Validitas atau keabsahan model adalah salah satu kriteria penilaian keobjektivan dari suatu pekerjaan ilmiah (Muhammadi *et al.* 2001).

Dalam penelitian ini validitas model dilakukan meliputi uji validitas struktur dan uji validitas kinerja. Validasi struktur model dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui keyakinan pada kontruksi sub model yang dibangun. Sedangkan, validasi output dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi model.

a. Uji Validitas Struktur

Uji validitas struktur dilakukan dengan dua cara yaitu, kestabilan struktur dan validitas konstruksi. Validitas konstruksi yaitu keyakinan terhadap konstruksi model valid secara ilmiah sedangkan kestabilan struktur yaitu keberlakuan atau kekuatan struktur dalam dimensi waktu (Iriadi, 2015). Dalam penelitian ini, validitas struktur dibuktikan dengan adanya sub model upaya pengelolaan pencemaran perairan Bozem Morokreimbangan yang telah dibangun pada sub bab 4.4.1 dan 4.4.2.

Sub model tersebut meliputi sub model pemukiman dan sub model industri yang dapat meningkatkan beban pencemaran

akibat bertambahnya penduduk dan jumlah industri pada area Bozem Morokrembangan. Sedangkan, kestabilan struktur dibuktikan dengan persamaan satuan pada sub model dengan menyesuaikan pada dimensi model yaitu dimensi dalam satuan waktu ke bulan dan berat beban pencemaran dalam satuan Kilogram. Kemudian, kestabilan struktur juga dapat dibuktikan dengan adanya peningkatan dan penurunan jumlah penduduk, jumlah industri, dan peningkatan pada beban pencemaran yang masuk kedalam Bozem Morokrembangan. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.5. berikut.

Tabel 4. 5 Hasil Simulasi Total Beban Pencemaran Bozem Morokrembangan Periode 2011 – 2022 (Ton/tahun)

Tahun	BP Limbah Pemukiman	BP Limbah Industri	Aliran BP	Total BP
2011	99,84	0,00280	99,84	100
2012	99,84	0,00281	99,85	280
2013	99,85	0,00281	99,85	603
2014	99,85	0,00282	99,86	1.185
2015	99,86	0,00283	99,86	2.233
2016	99,87	0,00284	99,87	4.120
2017	99,87	0,00284	99,87	7.516
2018	99,88	0,00285	99,88	13.629
2019	99,88	0,00286	99,89	24.631
2020	99,89	0,00286	99,89	44.437
2021	99,89	0,00287	99,90	80.086
2022	99,90	0,00288	0,00	144.254
Rata – rata	99,87	0,0028	91,55	26.923

Keterangan :

BP = Beban Pencemaran

Sumber: Hasil Analisis (2020)

b. Uji Validitas Kinerja (Output)

Dalam membangun sebuah model dibutuhkan suatu cara berfikir sistem untuk memperoleh gambaran dari sistem yang

akan dibuat. Dalam hal ini validitas kinerja merupakan sebuah aspek pelengkap dalam metode berfikir sistem. Validitas kinerja bertujuan untuk memperoleh keyakinan sejauh mana kinerja model sesuai dengan kinerja sistem nyata sehingga memenuhi syarat sebagai model ilmiah yang taat fakta (Muhammadi *et al.* 2001). Analisis validitas kinerja dilakukan dengan cara membandingkan data hasil simulasi model dengan data aktual. Validasi model ini berguna untuk membangun kepercayaan terhadap model sebagai alat bantu dalam menganalisis terhadap upaya pengelolaan. Validitas kinerja pada penelitian ini disusun pada dua peubah sub pencemar yaitu jumlah penduduk dan jumlah industri

1. Sub Model Pemukiman

Simulasi pada sub model pemukiman dilakukan pada "stock" dengan menggunakan jumlah penduduk pada awal simulasi yaitu 124.797 jiwa yang diperoleh pada tahun 2011. Kemudian laju pertumbuhan penduduk dipengaruhi oleh fraksi pertumbuhan penduduk yang didapat dari rata – rata pertumbuhan penduduk dari tahun 2011 – 2018. Hasil validasi pada sub model pemukiman dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Hasil Validitas Sub Model Pemukiman

Tahun	Aktual (A)	Simulasi (F)	$((A - F)/A)$	MAPE (%)
2011	124.797	124.797	0	3,49
2012	129.681	124.804	0,038	
2013	135.009	124.811	0,076	
2014	135.211	124.818	0,077	
2015	135.005	124.825	0,075	
2016	127.331	124.833	0,020	
2017	124.565	124.840	-0,002	
2018	124.419	124.847	-0,003	

Sumber: Hasil Analisis (2020)

Hasil pengolahan data pada Tabel 4.6 menunjukkan nilai MAPE dengan perbandingan data aktual dan data simulasi sebesar 3,49%. Nilai MAPE berdasarkan hasil analisis tersebut

menunjukkan bahwa tingkat akurasi sub model pemukiman yang dibuat sangat tepat. Perhitungan presentasi MAPE dipengaruhi oleh jumlah penduduk yang akan menghasilkan potensi pencemaran terhadap perairan Bozem Morokembangan. Peningkatan beban pencemaran merupakan suatu sistem yang dipengaruhi terhadap peubah (*stock*) yaitu jumlah penduduk dan aktivitas penduduk pada area Bozem Mororkembangan.

2. Sub Model Industri

Sub model industri pada data awal simulasi berjumlah 14 unit industri dalam skala sedang. Uji validitas terhadap sub model industri dilakukan berdasarkan peningkatan jumlah industri dari pemanfaatan lahan. Namun, berdasarkan hasil simulasi peningkatan jumlah industri yang terjadi pada Bozem Morokembangan tidak signifikan disebabkan lahan yang kurang tersedia akibat padat pemukiman. Peningkatan jumlah industri dipengaruhi oleh fraksi laju perubahan industri sebesar 0,0025%. Hasil simulasi validitas terhadap sub model industri disajikan pada Tabel 4.7

Tabel 4. 7 Hasil Validitas Sub Model Industri

Tahun	Aktual (A)	Simulasi (F)	$((A-F)/A)$	MAPE (%)
2011	14	14	0	0,00%
2012	14	14	0,000	
2013	14	14	0,000	
2014	14	14	0,000	
2015	14	14	0,000	
2016	14	14	0,000	
2017	14	14	0,000	
2018	14	14	0,000	

Sumber: Hasil Analisis (2020)

4.4.3. Skenario Upaya Pengelolaan Bozem Morokembangan

Dalam penelitian ini, skenario upaya pengelolaan dilakukan untuk menanggulangi kemungkinan – kemungkinan

yang akan terjadi pada masa mendatang. Kemungkinan yang terjadi dapat berada pada kondisi yang sama atau ada perubahan dari kondisi sebelumnya. Skenario terhadap upaya pengelolaan dilakukan dengan mempertimbangkan faktor – faktor yang berpengaruh terhadap pengelolaan perairan Bozem Morokembangan. Simulasi skenario upaya pengelolaan pada perairan Bozem Morokembangan disusun berdasarkan tiga skenario yaitu skenario pesimistik, moderat dan optimistik. Skenario pesimistik merupakan simulasi skenario yang disusun berdasarkan pada kondisi eksisting yang diamati pada saat penelitian. Sedangkan, skenario moderat merupakan simulasi skenario yang disusun menurut rencana upaya pengelolaan terhadap keadaan eksisting serta simulasi skenario optimistik yaitu skenario yang disusun berdasarkan pada keadaan real di lapangan. Simulasi skenario upaya pengelolaan Bozem Morokembangan disajikan pada Tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Simulasi Skenario Pengelolaan Terhadap Kondisi Bozem Morokrembangan

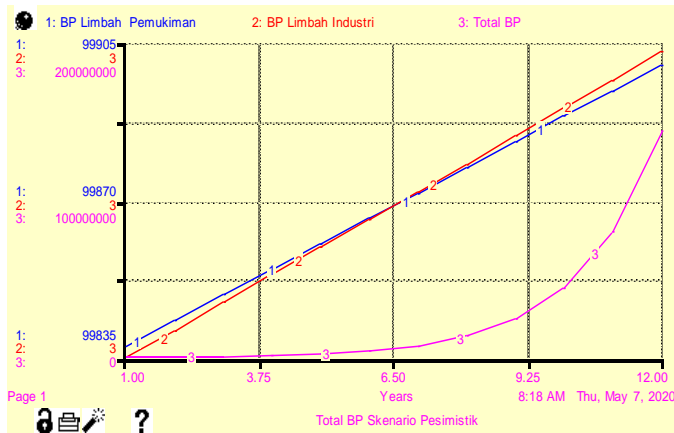
Faktor	Kondisi Pada Masa Mendatang		
	Skenario Pesimistik	Skenario Moderat	Skenario Optimistik
Laju Perubahan Penduduk	Peningkatan laju penduduk berdasarkan kondisi eksisting sebesar 0,05% tanpa reduksi limbah	Menurun sesuai dengan level pertumbuhan penduduk berdasarkan ketetapan nasional sebesar 1,49% dengan reduksi limbah 25%	Menurun sesuai dengan level pertumbuhan penduduk berdasarkan ketetapan nasional sebesar 1% dengan reduksi limbah 75%
Pertumbuhan Industri	Peningkatan laju industri berdasarkan kondisi eksisting sebesar 0,0025% tanpa reduksi limbah	Meningkat, namun reduksi limbah dilakukan pada setiap unit sebesar 20%	Tetap Karena adanya Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dengan reduksi limbah sebesar 20% sesuai dengan Baku Mutu Air Limbah (BMAL) cair industri

Faktor	Kondisi Pada Masa Mendatang		
	Skenario Pesimistik	Skenario Moderat	Skenario Optimistik
Transfer Limbah Domestik	Limbah domestik yang masuk pada perairan Bozem berdasarkan kondisi eksisting 80% tanpa pengolahan	Menurun , namun dengan reduksi limbah sebesar 30% karena adanya IPAL	Tetap karena adanya ketentuan KLHK dengan reduksi limbah domestik sebesar 30% dengan adanya IPAL
Partisipasi Masyarakat	Partisipasi masyarakat berdasarkan kondisi eksisting 20%	Meningkat,dengan adanya kerja bakti, dan membuang sampah tidak pada area bozem. Peningkatan partisipasi masyarakat sebesar 45%	tetap, namun dengan peningkatan sebesar 70% dengan adanya kegiatan pembersihan saluran - saluran inlet bozem.

Sumber: Hasil Analisis (2020)

Simulasi skenario pada Tabel 4.8 diatas menjelaskan bahwa peningkatan presentasi dari faktor – faktor tersebut yaitu:

1. **Simulasi Skenario Pesimistik**, disusun berdasarkan kondisi dengan mengacu pada faktor – faktor yang diamati selama melakukan penelitian pada Bozem Morokrembangan yaitu; terjadi peningkatan pertumbuhan penduduk sebesar 0,05% yang diperoleh dari hasil pengolahan data penduduk Kecamatan Krembangan pada periode tahun 2011 – 2018 . Peningkatan jumlah penduduk setiap tahunnya disebabkan karena adanya angka kelahiran, kematian, migrasi, dan perpindahan penduduk di area sekitar Bozem. Peningkatan jumlah industri sebesar 0,0025% yang terlihat kecil dikarenakan keterbatasan lahan untuk pembangunan unit industri baru. Jumlah industri mempengaruhi pencemaran air bozem akibat buangan limbah tanpa dilakukan reduksi limbah. Transfer limbah domestik merupakan penyumbang limbah terbesar yaitu 80% dikarenakan kepadatan area pemukiman disekitar bozem dan kurang tersedianya IPAL domestik pada sebagian besar penduduk untuk buangan limbah rumah tangga. Dalam melakukan upaya terhadap hal – hal tersebut dibutuhkan partisipasi masyarakat untuk mendukung kegiatan yang telah disediakan oleh pemerintah. Namun, pada kondisi eksisting partisipasi masyarakat sebesar 20% dikarenakan masih terdapat warga yang membuang limbah langsung pada bozem. Output penerapan simulasi skenario pesimistik dapat dilihat pada Gambar 4.19.

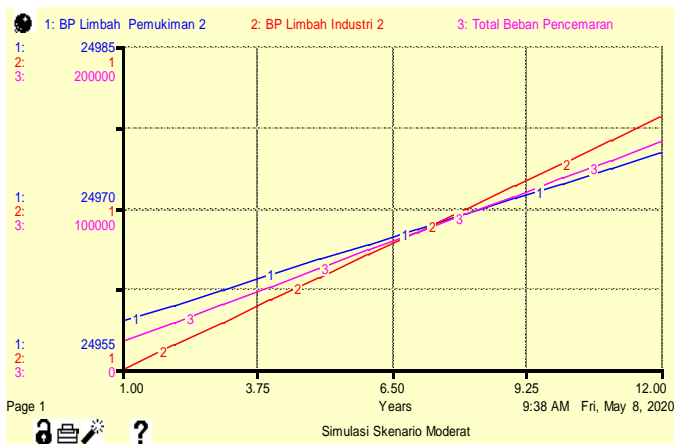


Gambar 4. 19 Simulasi Skenario Pesimistik
Sumber: Hasil Analisis (2020)

Gambar grafik 4.19 diatas menjelaskan hasil dari skenario pesimistik. Skenario pesimistik disusun berdasarkan keadaan *real*/di lapangan. Sehingga pada skenario pesimistik tersebut memiliki hasil grafik yang sama dengan grafik total beban pencemaran pada sub bab 4.5.1. Sehingga, garis linier pada beban limbah pemukiman dan beban limbah industri menunjukkan peningkatan beban limbah yang masuk kedalam bozem relatif tidak terlalu berbeda setiap tahunnya. Sedangkan, garis hiperbola pada total BP merupakan akumulasi dari kedua sub pencemar tersebut yang dipengaruhi oleh aliran (*flow*). Kemudian, garis hiperbola tersebut menunjukkan peningkatan total beban pencemaran yang signifikan meningkat akibat tidak adanya pengelolaan.

2. **Simulasi Skenario Moderat**, disusun berdasarkan kondisi dengan faktor – faktor yaitu; penurunan jumlah penduduk dibawah 1,49% dikarenakan adanya sosialisasi yang dilakukan terhadap dampak pencemaran dan dilakukan penyediaan IPAL komunal pada setiap kelurahan. Limbah yang dihasilkan dari peningkatan jumlah industri sebesar 0,0025% pada area bozem perlu disediakan IPAL untuk limbah cair industri agar dapat memenuhi Baku Mutu Air

Limbah (BMAL) cair industri. Penurunan transfer limbah domestik sebesar 30% karena tersedianya IPAL pada kawasan pemukiman penduduk untuk menyisihkan konsentrasi limbah yang akan dibuang kedalam perairan bozem. Peningkatan partisipasi masyarakat sebesar 45% karena adanya sarana prasarana yang tersedia sebagai penunjang kegiatan. Ouput penerapan simulasi skenario moderat dapat dilihat pada Gambar 4.20.

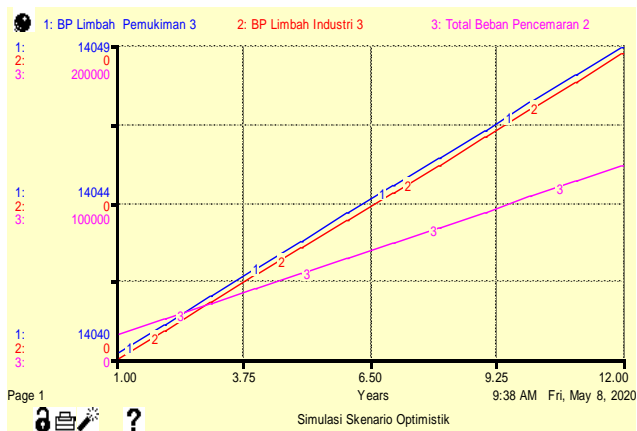


Gambar 4. 20 Simulasi Skenario Moderat
Sumber: Hasil Analisis (2020)

Berdasarkan Gambar 4.20 diatas menjelaskan garis linear pada simulasi skenario moderat yang mana total beban pencemaran memiliki peningkatan yang relatif hampir sama pada setiap tahunnya. Artinya, pada simulasi skenario moderat tersebut menyebabkan penurunan total beban pencemaran sebesar 140,52 Ton/tahun akibat adanya reduksi limbah oleh IPAL sebesar 30% dan disertai dengan partisipasi masyarakat sebesar 45%.

3. **Simulasi Skenario Optimistik**, disusun berdasarkan pada kondisi dengan faktor – faktor yaitu ; penurunan jumlah penduduk dibawah 1% dengan peningkatan jumlah reduksi limbah 75% dikarenakan upaya pengelolaan yang

dilakukan pembersihan pada saluran Kali Greges, Kali Purwodadi, dan Saluran Kalianak Timur sebagai inlet menuju Bozem Morokrengan. Reduksi limbah industri sebesar 20% sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 01 Tahun 2010 dengan dibangunnya IPAL untuk pengolahan limbah cair industri. Penurunan transfer limbah domestik tetap sebesar 30% sesuai dengan ketetapan KLHK yang didukung dengan pembangunan sarana berupa IPAL komunal pada wilayah pemukiman agar tidak langsung terbuang kedalam Bozem. Partisipasi masyarakat meningkat sebesar 70% karena kegiatan penyuluhan yang berkesinambungan dengan adanya peningkatan terhadap SDM tenaga penyuluh serta sarana prasarana penunjang kegiatan masyarakat. Ouput penerapan simulasi skenario moderat dapat dilihat pada Gambar 4.21.



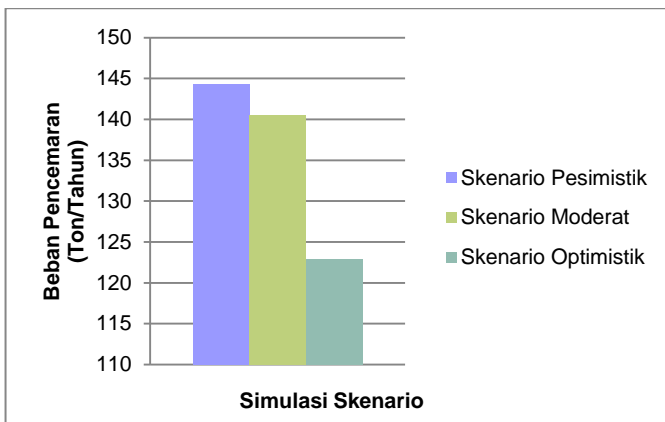
Gambar 4. 21 Simulasi Skenario Optimistik
Sumber: Hasil Analisis (2020)

Berdasarkan Gambar 4.21 diatas menjelaskan garis linear pada BP limbah pemukiman dan BP limbah industri memiliki peningkatan dengan selisih beban pencemaran yang relatif sama pada setiap tahun simulasi. Sedangkan,

pada total beban pencemaran memiliki penurunan beban yang signifikan dibandingkan dengan skenario pesimistik dan skenario optimistik. Artinya, dengan menerapkan skenario optimistik dapat menghasilkan beban pencemaran yang cukup rendah pada perairan Bozem sebesar 122,89 Ton/tahun. Hal tersebut disebabkan karena adanya reduksi limbah oleh IPAL sebesar 30% dengan peningkatan partisipasi masyarakat sebesar 70%

4.4.4. Analisis Skenario Upaya Pengelolaan

Hasil simulasi model dari setiap skenario dapat menghasilkan outputan yang berbeda terhadap kemungkinan pada masa mendatang. Hasil simulasi pada ketiga skenario tersebut disajikan pada Gambar 4.22.



Gambar 4. 22 Perbandingan Hasil Simulasi Skenario
Sumber : Hasil Analisis (2020)

Berdasarkan Gambar 4.22 diatas, menjelaskan **simulasi skenario pesimistik** menghasilkan beban pencemaran pada akhir simulasi model sebesar 144,23 Ton/tahun. Peningkatan beban pencemaran tersebut dipicu ole kegiatan penduduk pada area sekitar Bozem seperti pembuangan sampah yang langsung kedalam Bozem maupun saluran drainase serta saluran jamban

sebagian rumah penduduk yang mengalir kedalam Bozem. Hal tersebut disebabkan karena minimnya pengetahuan terhadap dampak pencemaran yang terjadi dan kurang tersedianya sarana penunjang seperti Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) pada beberapa kelurahan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada skenario pesimistik mengakibatkan beban limbah pencemaran yang sangat besar diakibatkan tidak adanya pengelolaan terhadap Bozem Morokrembangan.

Simulasi skenario moderat disusun berdasarkan faktor – faktor yang dimungkinkan dapat mengurangi beban pencemaran terhadap kualitas air Bozem Morokrembangan. Jumlah penduduk sebagai penghasil limbah diintervensi oleh Pemerintah Daerah atau instansi terkait agar tingkat laju perubahan penduduk dapat konstan pada 0,05% atau dibawah 1,49% menurut ketetapan nasional berdasarkan program pemerintah pusat. Jumlah industri merupakan salah satu sumber pencemar pada Bozem Morokrembangan. Dalam skenario ini reduksi limbah industri dilakukan sebesar 20% dengan membangun IPAL agar memenuhi baku mutu limbah cair industri.

Transfer limbah domestik diintervensi oleh pemerintah atau instansi terkait dan masyarakat pada area Bozem Morokrembangan dengan melakukan penyuluhan untuk meningkatkan pengetahuan masyarakat terhadap dampak pencemaran, melakukan pengurukan pada lumpur didalam bozem agar tidak berbau, penerapan program 3R (*reduce, reuse* dan *recycle*) untuk mereduksi limbah padat yang masuk kedalam Bozem Morokrembangan serta menyediakan pembangunan IPAL komunal terhadap beberapa kekelurahan yang belum memiliki IPAL sehingga mampu mereduksi transfer limbah domestik sebesar 30%.

Dalam melakukan upaya tersebut perlu adanya partisipasi masyarakat untuk membantu meminimalisir pencemaran pada bozem sehingga tidak mengganggu kualitas perairan bozem. Partisipasi masyarakat dapat dilakukan dengan melakukan kerja bakti pada area sekitar bozem, melakukan program 3R, serta tidak membuang sampah lagi pada bozem. Dalam simulasi skenario ini partisipasi masyarakat sebesar 45%. Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan skenario moderat dapat meminimalkan reduksi limbah yang

masuk kedalam perairan Bozem dengan memaksimalkan upaya pembangunan IPAL dan meningkatkan partisipasi masyarakat.

Simulasi skenario optimistik disusun berdasarkan faktor – faktor yang disesuaikan dengan keadaan real dilapangan untuk mengurangi pencemaran terhadap kualitas air Bozem Morokrembangan. Jumlah penduduk sebagai penghasil limbah diintervensi oleh Pemerintah Daerah atau instansi terkait agar tingkat laju perubahan penduduk dapat kosntan pada 0,05% atau dibawah 1% menurut ketetapan nasional berdasarkan program pemerintah pusat. Dalam skenario ini reduksi limbah industri tetap dilakukan sebesar 20% berdasarkan ketetapan Baku Mutu Air Limbah (BMAL) cair industri dengan membangun IPAL agar memenuhi baku mutu limbah cair industri.

Transfer limbah domestik diintervensi oleh pemerintah atau instansi terkait dan masyarakat pada area Bozem Morokrembangan dengan memaksimalkan pengurukan pada lumpur didalam bozem agar tidak berbau dengan menambah sarana untuk pengurukan, penerapan program 3R (*reduce, reuse* dan *recycle*) untuk mengurangi limbah padat yang masuk kedalam bozem. serta memaksimalkan pembangunan IPAL komunal. Reduksi yang dilakukan terhadap transfer limbah domestik berdasarkan ketetapan KLHK sebesar 30%. Dalam memaksimalkan upaya tersebut perlu adanya peningkatan dari partisipasi masyarakat. Dalam skenario ini partisipasi masyarakat sebesar 70%. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa dengan menerapkan skenario optimistik dengan reduksi limbah oleh IPAL sebesar 30% dengan partisipasi masyarakat 70% dapat menurunkan beban pencemaran yang signifikan setiap tahunnya.

Berdasarkan analisis pada ketiga skenario diatas hasil simulasi masing – masing skenario menunjukkan hasil total beban pencemar dengan simulasi skenario pesimistik sebesar 144,23 Ton/tahun, simulasi skenario moderat 140,52 Ton/tahun, dan simulasi skenario optimistik sebesar 122,89 Ton/tahun. Hasil total beban pencemaran dari masing – masing skenario, skenario menunjukkan bahwa beban pencemaran yang terendah adalah simulasi pada skenario optimistik. Sehingga dalam skenario upaya pengelolaan terhadap pencemaran air limbah Bozem Morokrembangan adalah menggunakan skenario optimistik dikarenakan dapat mereduksi lebih besar limbah yang masuk

kedalam Bozem dengan beban pencemaran terendah sebesar 122,89 Ton/tahun.

4.5. Upaya Pengelolaan Dengan Aspek Lingkungan

Upaya pengelolaan perairan Bozem Morokrempangan perlu ditinjau dari segi aspek lingkungan agar dapat menganalisis dampak yang terjadi pada perairan bozem. Dampak pencemaran perairan Bozem Morokrempangan disebabkan karena kegiatan - kegiatan disekitar bozem. Pencemaran Bozem Morokrempangan mengakibatkan beberapa dampak penting yang mempengaruhi estetika lingkungan yaitu penurunan kualitas air, timbulnya eutrofikasi, dan terganggunya kesehatan lingkungan disebabkan bau yang ditimbulkan dari tumpukan sampah. Dalam penelitian ini upaya pengelolaan terhadap dampak – dampak tersebut diuraikan sebagai berikut.

- 1. Penurunan kualitas perairan,** pencemaran perairan Bozem Morokrempangan berdampak pada kualitas air bozem. Penurunan kualitas perairan bozem disebabkan karena masuknya limbah yang berasal dari limbah domestik maupun industri serta yang berasal dari saluran drainase. Berdasarkan hasil analisis pada sub model sumber pencemar pada sub bab 4.3 bahwa jumlah beban yang masuk dari sumber pemukiman setiap tahunnya sebesar 99,868 Ton/tahun dan sumber industri sebesar 0,00028 Ton/tahun. Sehingga dapat diperkirakan bahwa total beban limbah yang masuk kedalam Bozem Morokrempangan setiap tahun mendekati 100 Ton/Tahun. Pencemaran yang berasal dari pemukiman disebabkan adanya aktivitas masyarakat seperti jamban yang langsung mengalir kedalam saluran inlet maupun kedalam bozem sehingga hal tersebut dapat mengganggu estetika perairan bozem dan mempengaruhi kualitas air bozem. Oleh sebab itu, upaya yang perlu dilakukan adalah menyediakan sarana IPAL untuk mereduksi limbah tersebut agar tidak berdampak pada lingkungan perairan bozem. Kemudian, limbah yang dihasilkan dari industri tentu memiliki dampak yang besar karena

material industri tersebut. Sehingga upaya pengelolaan yang dilakukan untuk limbah industri disesuaikan dengan jenis industri sebagaimana dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 01 Tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air. Dalam mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh industri maka perlu dilakukan upaya pengelolaan yang berkaitan dengan izin lingkungan terkait pembuangan limbah industri ke perairan bahwa mutu air limbah sebesar 20% lebih ketat dari BMAL industri.

2. **Eutrofikasi**, salah satu dampak lingkungan yang ditimbulkan akibat pencemaran perairan Bozem Morokrembangan adalah eutrofikasi. Sisi utara bozem memiliki tingkat eutrofikasi yang tinggi dikarenakan masuknya limbah yang berasal dari sisi selatan bozem. Eutrofikasi menyebabkan banyak tumbuhnya eceng gondok pada perairan bozem sehingga kualitas air bozem menurun. Peningkatan eutrofikasi disebabkan karena masuknya limbah organik ke perairan waduk. Dalam penelitian ini, upaya pengelolaan air Bozem Morokrembangan dapat dilakukan secara struktural dan nonstruktural. Secara struktural dapat dilakukan dengan membangun instalasi pengolahan air limbah untuk mereduksi beban senyawa nutrient, melakukan pengerukkan pada sedimen dasar bozem, dan melakukan pengelolaan lahan yang ramah lingkungan. Sedangkan, secara nonstruktural yaitu meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap bahaya dampak pencemaran air Bozem Morokrembangan terhadap lingkungan.
3. **Kesehatan lingkungan**, pencemaran perairan Bozem Morokrembangan berdampak terhadap kesehatan lingkungan salah satunya disebabkan oleh tampungan sampah pada bozem yang menimbulkan bau pada lingkungan sekitar bozem. Sampah yang tertumpuk pada perairan bozem dapat menyebabkan pendangkalan pada dasar bozem dan menimbulkan bau pada area sekitar. Berdasarkan hasil wawancara yang dilakukan bersama petugas DKRTH di Bozem

Morokrembangan, bahwa untuk mengurangi sampah pada dasar bozem dilakukan pengambilan sampah setiap hari pada pagi dan sore. Akan tetapi, tidak begitu efisien dikarenakan setiap harinya masyarakat masih membuang sampah kedalam bozem. Selain itu, bozem yang luas mempersulit petugas untuk mengambil sampah didalam bozem. Sehingga berdasarkan hal tersebut, upaya pengelolaan untuk meningkatkan kesehatan lingkungan pada Bozem Morokrembangan dapat dilakukan dengan menerapkan program 3R serta meningkatkan partisipasi dan kesadaran masyarakat untuk mereduksi sampah.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, kesimpulan dalam penelitian adalah:

1. Status mutu air Bozem Morokrempangan adalah Cemar Sedang dengan beban pencemaran tertinggi dihasilkan oleh Kali Purwodadi dengan konsentrasi beban pencemaran COD 28,283 mg/L, BOD₅ 7,491 mg/L, Ammonia 6,18 mg/L, dan Total Fosfat 6,18 mg/L.
2. Total beban pencemaran Bozem Morokrempangan sebesar 26.923 Ton/Tahun dengan sumber pencemar pemukiman 99,87 Ton/tahun dan sub pencemar industri sebesar 0,0028 Ton/tahun. Simulasi sub sistem dinamik memiliki tingkat akurasi yang tepat dengan presentasi nilai MAPE sub model pemukiman 3,49% dan sub model industri 0,0%.
3. Upaya pengelolaan kualitas perairan Bozem Morokrempangan dapat dilakukan dengan aspek teknis dan aspek lingkungan dengan membangun IPAL, merealisasikan program 3R, pengelolaan lahan ramah lingkungan dan meningkatkan partisipasi masyarakat.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan dalam penelitian ini yaitu:

1. Melakukan pengukuran debit pada kondisi eksisting agar dapat memperoleh data yang akurat
2. Memaksimalkan upaya pengerukan lumpur pada dasar bozem dengan menyediakan sarana pengerukan
3. Melakukan analisis kualitas air Bozem Morokrempangan pada setiap bulannya agar memperoleh data primer untuk mendukung teknik pengelolaan perairan Bozem Morokrempangan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Aang, Permana A.P., (2012). Tingkat Pencemaran Perairan Waduk Cirata, Jawa Barat : Pengaruh Sungai dan Keramba Jaring Apung (KJA). Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor
- Alam Ywa,O.T., Anik S., dan Winardhi,D.N. (2016). Pengaruh Waduk Jatibarang Terhadap Kualitas Air Sungai Garang di Intake PDAM Semarang.Jurnal Lingkungan. Universitas Diponegoro. Vol 5 (2).
- Al-Shujairi, S.O.H., 2013. *Develop and apply water quality index to evaluate water quality of Tigris and Euphrates Rivers in Iraq*. IJMERE 3 (4), 2119–2126.
- Awalunikmah,R.(2017). Penentuan Status Mutu Air Sungai Kalimas Dengan Metode Storet dan Indeks Pencemaran. Tugas Akhir. Teknik Lingkungan. ITS.
- Babu, M. T., Kesava Das, V., & Vethamony, P. (2006). *BOD – DO modeling and water quality analysis of a waste water outfall off Kochi, west coast of India*. *Environment International*, 32(2), 165–173.
- Badan Pusat Statistik Kota Surabaya . (2012). *Kecamatan Krembangan 2012*. BPS. Surabaya.
- Badan Pusat Statistik Kota Surabaya . (2013). *Kecamatan Krembangan 2013*. BPS. Surabaya.
- Badan Pusat Statistik Kota Surabaya . (2014). *Kecamatan Krembangan 2014*. BPS. Surabaya.
- Badan Pusat Statistik Kota Surabaya . (2015). *Kecamatan Krembangan 2015*. BPS. Surabaya.

- Badan Pusat Statistik Kota Surabaya . (2016). *Kecamatan Krembangan 2016*. BPS. Surabaya.
- Badan Pusat Statistik Kota Surabaya . (2017). *Kecamatan Krembangan 2017*. BPS. Surabaya.
- Badan Pusat Statistik Kota Surabaya . (2018). *Kecamatan Krembangan 2018*. BPS. Surabaya.
- Badan Pusat Statistik Kota Surabaya . (2019). *Kecamatan Krembangan 2019*. BPS. Surabaya.
- Bahri, Andi Faizal. (2006). Analisis Kandungan Nitrat dan Fosfat pada sedimen mangrove yang termamfaatkan di Kecamatan Mallusetasi Kabupaten Barru. Studi Kasus Pemanfaatan Ekosistem Mangrove & Wilayah Pesisir Oleh Masyarakat Di Desa Bulucindea Kecamatan Bungoro Kabupaten Pangkep. Asosiasi Konservator Lingkungan :Makassar.
- Barus, T.A, (2004). Faktor-faktor Lingkungan Abiotik dan Keanekaragaman Plankton sebagai Indikator Kualitas Perairan Danau Toba.Jurnal Manusia dan Lingkungan, Vol. XI, No.2.
- Boyd,C.E. (1990). *Water Quality In Pond for Aquaculture.*, Birmingham Publishing.Co
- Brahmana, S.S., Y. Summarriani dan F. Ahmad. (2010). Kualitas Air dan Eutrofikasi Waduk Riam Kanan di Kalimantan Selatan. Prosiding Seminar Nasional Limnologi V
- Chaerul, M., Tanaka, M., dan Shekdar, A.V. (2008). “A System Dynamic Approach for Hospital Waste Management”. Waste Management 28, Hal. 442–449.
- Crossman.J.,M.N.Futter.,J.A.Elliot.,P.G.Whitehead.,L.Jin.,P.J.Dillon.(2019).Optimizing land management strategies for maximum improvements in lake dissolved oxygen

- concentrations. *Science of The Environment*, 652. Hal 382 – 397.
- Dangerfield, B. (2014). *System Thinking and System Dynamics*. A Primer. ResearchGate, hal 1 -24
- Davis, M. L. dan Masten, S. J. (2004), *Principles of Environmental Engineering and Science*, The McGraw-Hill Companies, Inc., New York.
- Effendi, H. (2003). *Telaah Kualita Air : Bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan*. Kanisius. Yogyakarta.
- Fachrurrozi, M. (2017). *Studi Optimasi Pemanfaatan Waduk Bagong Di Kabupaten Trenggalek Untuk Jaringan Irigasi, Kebutuhan Air Baku, Dan Potensi PLTA. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Sipil. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 2017*.
- Firmansyah, A. dan Erma, S. (2017). *Model Sistem Dinamik Untuk Pengembangan Smart Economy*. Fakultas Teknik Informasi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Jurnal ITS. Vol. 6, No. 2
- Fitra, Eva. 2008. *Analisis Kualitas Air Dan Hubungannya Dengan Keanekaragaman Vegetasi Akuatik di Perairan Parapat Danau Toba*. Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Forrester, Jay W., 1961. *Industrial Dynamics*, Waltham, MA: Pegasus Communications. 464 pp.
- Forrester, Jay W. (1989). *The Beginning of System Dynamics*. Banquet Talk at the International meeting of the System Dynamics Society Stuttgart, Germany July 13, 1989.
- Forum Danau Indonesia. (2004), *Visi Danau Dunia*, Forum Danau Indonesia.

- Gazali, I., Widiatmono, R. B., dan Wirosoedarmo, R. 2013. Evaluasi Dampak Pembuangan Limbah Cair Pabrik Kertas Terhadap Kualitas Air Sungai Klintar Kabupaten Nganjuk. Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem, 1(2), hal.1-8.
- Ghufran,M dan Baso,A. 2005. Pengelolaan Kualitas Air Dalam Budidaya Perairan,Jakarta:Rineka Cipta.
- Google Maps. 2020. Wilayah Penelitian. <https://maps.app.goo.gl/CaMN9VaR5wc5PFaG6>. Diakses 21 Juli 2020.
- Google Earth. 2020. Lokasi Pengambilan Sampel. <https://earth.app.goo.gl/?apn=com.google.earth&isi=293622097&ius=googleearth>. Diakses 21 Juli 2020.
- Hasriyani. (2010). Studi Kinerja Bozem Morokrengan pada Penurunan Kandungan Total Solid dan Zat Organik Sebagai Permanganat Value. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan. FTSP. ITS
- Hairston Jr,N.G. dan Fussaman G.F. (2002)."*Lake Ecosystem*", *Encyclopedia of Life Sciences*,Macmillan Publishers Ltd,hal 1- 3.
- Iriadi,Ridwan.(2015). Model Pengendalian Pencemaran Perairan Danau Laut Tawar di Kabupaten Aceh Tengah.Program Studi Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan. Institut Pertanian Bogor.
- Juantari, Gilang Y.,Rini,W.Y.,dan Donny,H.(2013). Status Trofik dan Daya Tampung Beban Pencemaran Waduk Sutami. Jurnal Teknik Pengairan, Volume 4, Nomor 1, Mei 2013, hlm 61–66.
- Katsev,S., Arthur, A., Sean, A. Crowe, dan Robert E. Hecky. (2014). Recent Warming of Lake Kivu. PLoS ONE 9(10).

- Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2016). Potensi Beban Pencemar. Workshop handout. Inventarisasi dan Identifikasi Sumber Pencemar.
- Kementerian Negara Lingkungan Hidup, (2003), Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 Tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air, Jakarta: Kementerian Negara Lingkungan Hidup,
- Koch, M., Yediler, A., Lienert, D., Insel, G., dan Kettrup, A. (2002). *Ozonation of Hydrolyzed Azo Dye Reactive Yellow*. 84. (CI) *Chemosphere*. 46(1) : 109 - 113
- Kolikkathara, N., Feng, H., dan Yu, D. (2010). "A System Dynamic Modeling Approach for Evaluating Municipal Solid Waste Generation, Landfill Capacity and Related Cost Management Issues". *Waste Management* 30, Hal. 2194-2203.
- Kunc, M. (2016), *System Dynamics: A Behavioral Modeling Method*, Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference, pp:53 – 64.
- Li, M., Zhu, Y., Xue, C., Liu, Y., dan Zhang, L. (2014). "The Problem of Unreasonably High Pharmaceutical Fees for Patients in Chinese Hospital: A System Dynamics Simulation Model". *Computers in Biology and Medicine* 47, Hal. 58–65
- Lukman., Ridwansyah, I. (2010). Kajian Kondisi Morfometri Dan Beberapa Parameter Stratifikasi Perairan Danau Toba. *Jurnal Limnotek* 17 (2): 17 (2) :158-170.
- Magfiroh, (2016). Penentuan Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Kalimas Surabaya (Segmen 65 Taman Prestasi-Jembatan Petekan) dengan Pemodelan QUAL2Kw. Tugas Akhir Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Malabay, (2008). Pendekatan Sistem Model Causal Loop Diagram (CLD) Dalam Memahami Permasalahan Penerimaan

- Kuantitas Mahasiswa Baru Di Perguruan Tinggi Swasta. Proceeding, Seminar Ilmiah Nasional Komputer dan Sistem Intelijen (KOMMIT 2008) Auditorium Universitas Gunadarma, Depok, 20-21 Agustus 2008. ISSN : 1411-6286
- Marhendi, Teguh. (2013). Strategi Pengelolaan Sedimentasi Waduk. Fakultas Teknik. Universitas Muhammadiyah Purwakerto. Volume 14 No.2.,Hal 29 – 41.
- Marganingrum, D., Roosmin, D., Sabar, A., 2013. *Diferesiasi Sumber Pencemar Sungai Menggunakan Pendekatan Metode Indeks Pencemar (IP) (Studi Kasus : Hulu DAS Citarum)*. Pusat Penelitian Geoteknolog Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Ris.Geo.Tam Vol. 23, No.1, Juni 2013 (37-48).
- Mays, L.W., 1996, *Water Resources Handbook*, hal. 6.16-6.36, McGraw-Hill, New Jersey.
- Muhammadi, Aminullah E, Soesilo B. 2001. *Analisis Sistem Dinamis*. Jakarta (ID): UMJ Press.
- Maulidiyah,Afrikhatul.(2017).”Studi Potensi Bozoem Wonorejo Sebagai Sumber Penyedia Air Baku Surabaya”. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.Surabaya.
- Mays, L.W.(Editor in Chief) (1996). *Water resources handbook*. McGraw-Hill.New York. p: 8.27-8.28.
- Metcalf & Eddy, Inc. (1991). *Wastewater Engineering: treatment, disposal, reuse*.3rd ed. (Revised by: G. Tchobanoglous and F.L. Burton). McGraw-Hill,Inc. New York, Singapore. 1334 p.
- Mwegoha, W. J. S., Kaseva, M. E., dan Sabai, S. M. M. (2010), *Mathematical Modeling of Dissolved Oxygen in Fish Ponds*, Journal of Environmental Science and Technology, 4(9): 625 – 638.

Nevers M.B dan Whitman, R.L. (2002). *Lake Monitoring Fiel Manual*. USA (US): US.Geological Survey.

Nugroho,Ary Susatyo.,Shalahuddin,D Tanjung.,dan Boedhi Hendarto.(2014).Distribusi Serta Kandungan Nitrat dan Fosfat di Perairan Danau Rawa Pening.Universitas Diponegoro.Semarang.*Bioma*.Vol.3.No.1.

Owa FW. 2014. Water pollution: Sources, Effects, Control and Management. *International Letters of Natural Sciences*. 8:1-6. doi:10.18052/www.scipress.com/ILNS.8.1

Papadopoulos, A., Parissopoulos, G., Papadopoulos, F., dan Karteris, A. (2001). *Variation of COD/BOD₅ ratio at different units of a wastewater stabilization pond pilot treatment facility. In Proceeding of 7th International Conference on Environmental Science and Technology Ermoupolis, 16 – 19.*

Peraturan Pemenrintah Lingkungan Hidup Nomor 28 Tahun 2009 Tentang Daya Tampung Beban Pencemaran Air Danau Dan/Atau Waduk.

Peraturan Pemenrintah Lingkungan Hidup Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.

Prasad, B. S. R. V., Srinivasu, P. D. N., Varma, P. S., Raman, A. V., dan Ray, S. (2014), Dynamics of Dissolved Oxygen in relation to Saturation and Health of an Aquatic Body: A Case for Chilka Lagoon, India, *Journal of Ecosystems*.

Pruyt, E. (2013), *Small System Dynamics Models for Big Issues: Triple Jump towards Real-World Complexity*, TU Delft Library, Delft, The Netherlands.

Rahman, Irvanu. (2012). Pengembangan Model Dinamis Untuk Mendapatkan Gambaran Interaksi Aspek Ekonomi dan Lingkungan Hidup Secara Timbal Balik dari Model

- Pembangunan Kota Terintegrasi. Skripsi. Program Sarjana Fakultas Teknik Industri. Universitas Indonesia.
- Romdania,Yuda., Ahmad,Herison., Gatot, Eko S.,dan Elza,N.(2018). Kajian Penggunaan Metode IP,Storet, dan CCME QWI Dalam Menentukan Status Kualitas Air. Fakultas Teknik. Universitas Bandar Lampung.
- Syadzadhiya,Q.Z.N. (2019). “Penyusunan Strategi Pengendalian Kualitas Air Waduk Dengan Pendekatan Sistem Dinamis”.Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Simanjuntak, M. 2008. Hubungan Faktor Lingkungan Kimia, Fisika terhadap Distribusi Plankton di Perairan Belitung Timur, Bangka Belitung. Jurnal Perikanan (J. Fish. Sci.) 11(1) p:31-45.
- Slamet,Agus. (2016). Peningkatan Fungsi Bozem Morokembangan Sebagai Pengolah Air Limbah Perkotaan Menggunakan Sistem Alga dan Bakteri. Program Doktor. Jurusan Teknik Lingkungan.Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Santoso,Dwi Arif. (2018). Keragaan Nilai DO, BOD dan COD di Danau Bekas Tambang Batu bara. Pusat Teknologi Lingkungan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. Jurnal Teknologi Lingkungan Vol. 19 (1).
- Sterman, J.D. (2000), *Bussines Dynamics : System and Thinking Modeling for A Complexd World* .Boston : The McGraw Hill Companies, Inc.
- Sudjarwadi, (2008), *Pengembangan Sumberdaya Air*, Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Tamyiz, Muchammad. (2015). Perbandingan Rasio BOD/COD Pada Area Tamban di Hulu dan Hilir Terhadap

Biodegradabilitas Bahan Organik. *Journal of Research and Technology*, Vol 1 No 1.

Tatangindatu,F.,Kalesaran,O.,dan Rompas,R. (2011). Studi Parameter Fisika Kimia Air Pada Aeral Budidaya Ikan di Danau Tondano Desa Paleloaan. Minahasa. Budidaya Perairan. Sulawesi Utara.

Tundisi,Jose Galizia. (2018). Reservoirs: New challenges for ecosystem studies and environmental management. *International Institute of Ecology, Brazil. Water Security 4 - 5*

Umaly, R.C. dan Ma L.A. Cuvin. (1988). Limnology: Laboratory and field guide,Physico-chemical factors, Biological factors. National Book Store,Inc. Publishers. Metro Manila. 322 p.

Yudo, S. 2010. Kondisi Kualitas Air Sungai Ciliwung di Wilayah DKI Jakarta ditinjau dari Parameter Organik, Amoniak, Fosfat, Detergen dan Bakteri Coli. *Jurnal Akuakultur Indonesia* 6(1) p: 34-36.

Vigil KM. (2003). *Clean water : an Introduction to Water Quality and WaterPollution Control*. Second Edition. USA (US): Oregon State University Press.

Walukow,A.F.,Dojokosetiyanto,D., Kholil., dan Soedarma, D (2008). Analisis Strategi Pengelolaan dan Peran Lembaga dalam Rangka Konversi Danau Sentani, Media Konservasi, Vol.13,No.1.,hal. 21-31.

Warlina, Lina (2004). Pencemaran Air : Sumber,Dampak,dan Penanggulangannya. Institut Pertanian Bogor.

Wetzel,R.G.(2001).Limnology. Lake and river ecosystem 3rd ed. Academic Press. San Diego,Ma. 1006 hal

Widyastuti E. 2004. Ketersediaan oksigen terlarut selama 24 jam secara vertical pada lokasi perikanan karamaba jaring apung di waduk Ir. H. Juanda, Purwakarta. [Skripsi]. Fakultas

Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. Bogor..

Widyana,Auliyannisa.(2013). Kajian Kualitas Air Situ Gintung Kecamatan Ciputat Timur Kota Tangerang Selatan. Fakultas Geografi.Universitas Gadjah Mada.

Xu,Z. dan Xu, Y.J. (2016). *A Deterministic Model for Prediciting Hourly Dissolved Oxygen Change : Development and Application to a Shallow Eutrophic Lake. Journal Water*, Vol.8, No.41,hal 1- 15.

Zhao, M., Ren, H., dan Rotter, V.S. (2011). “A System Dynamics Model for Evaluating The Alternative of Type in Construction and Demolition Waste Recycling Center – The Case of Chongqing, China”. *Resources, Conservation and Recycling* 55, Hal. 933–944.

Zahararuddin,N., Wahyuningsih,H., dan Muhtadi,A. (2016). Penentuan Kualitas Air di Danau Kelapa Gading Kelurahan Kisaran Naga Kabupaten Asahan. Medan : Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan. Fakultas Pertanian. Universitas Sumatra Utara.

LAMPIRAN

Lampiran I Kualitas Air Bozem Morokrembangan

Tabel 1.1 Kualitas Air Hari Ke-1

Parameter	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5	Titik 6	Titik 7
pH	7,2	7,05	7,05	7,1	7,05	7,15	7,05
Suhu (°C)	29	29	29	29	29	29	29
DO (mg/L)	1,5	1,1	1,25	1,95	1,7	2	2,15
BOD (mg/L)	46,92	53,17	45,70	49,26	34,40	39,62	22,94
COD (mg/L)	187	89	109	98	87	182	173
Ammonia-N (mg/L)	0,21	1,54	0,21	1,23	0,67	0,97	0,44
Total Fosfat Sebagai P (mg/L)	1,16	1,52	1,80	1,80	1,35	1,36	2,05

Tabel 1.2 Kualitas Air Hari Ke-2

Parameter	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5	Titik 6	Titik 7
pH	7,35	7,25	7,85	8	7,35	7,8	7,8
Suhu (°C)	29	29	30	30	29	30	30
DO (mg/L)	1,5	1	1,25	0,65	0,95	1,15	0,7
BOD (mg/L)	45,61	53,17	45,87	43,40	27,41	20,29	15,46
COD (mg/L)	242	184	215	163	182	82	125
Ammonia-N (mg/L)	0,63	0,70	0,74	0,97	0,40	1,16	0,48
Total Fosfat Sebagai P (mg/L)	1,37	1,28	1,97	2,11	1,10	1,12	1,67

Tabel 1.3 Kualitas Air Hari Ke-3

Parameter	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5	Titik 6	Titik 7
pH	7,45	7,5	8,15	7,65	7,75	7,5	7,3
Suhu (°C)	29	29	30	29	29	29	29
DO (mg/L)	1,25	1,1	2,25	2	1,1	1,9	1,25
BOD (mg/L)	17,42	19,96	18,16	26,41	15,03	32,19	12,55
COD (mg/L)	76	107	84	118	56	115	65
Ammonia-N (mg/L)	4,76	2,67	3,36	2,52	3,13	3,92	3,05
Total Phosfat Sebagai P (mg/L)	1,49	1,61	1,77	1,56	1,34	1,60	1,93

Tabel 1.4 Kualitas Air Hari Ke-4

Parameter	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5	Titik 6	Titik 7
pH	7,45	7,15	8	7,75	7,75	7,45	7,6
Suhu (°C)	29	29	30	29	30	29	29
DO (mg/L)	2	0,6	2	2,7	2,75	1,5	2,1
BOD (mg/L)	9,38	14,84	13,73	13,21	9,34	19,81	16,33
COD (mg/L)	61	61	100	97	97	63	67
Ammonia-N (mg/L)	3,32	1,95	2,90	2,64	3,89	4,11	3,43
Total Phosfat Sebagai P (mg/L)	1,87	2,14	1,71	1,64	1,08	1,65	1,29

Tabel 1.5 Kualitas Air Hari Ke-5

Parameter	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5	Titik 6	Titik 7
pH	7,05	7,05	7,75	7,65	7,7	7,1	7,05
Suhu (°C)	29	29	29	29	29	29	29
DO (mg/L)	2	1	2,25	1,5	1,75	1,5	2,1
BOD (mg/L)	0,69	0,85	2,06	1,17	0,55	0,63	0,63
COD (mg/L)	138	85	143	131	160	76	93
Ammonia-N (mg/L)	4,72	1,01	3,58	3,92	4,23	3,85	4,08
Total Phosfat Sebagai P (mg/L)	0,86	1,43	1,34	1,42	1,07	1,26	1,02

Tabel 1.6 Kualitas Air Hari Ke-6

Parameter	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5	Titik 6	Titik 7
pH	7,3	7,15	8	7,3	7,4	7,3	7,55
Suhu (°C)	29	29	29	29	29	29	29
DO (mg/L)	1,5	1,15	1,25	2,5	1,75	1,25	1,5
BOD (mg/L)	9,44	9,80	11,98	8,32	26 08	17,36	26,57
COD (mg/L)	134	93	117	49	95	104	113
Ammonia-N (mg/L)	3,13	3,70	2,75	2,83	1 88	2,45	2,75
Total Phosfat Sebagai P (mg/L)	1,54	1,24	1,81	1,67	1 49	1,32	1,07

Tabel 1.7 Kualitas Air Hari Ke- 7

Parameter	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5	Titik 6	Titik 7
pH	7,35	7,25	8	7,35	7,7	7,7	7,35
Suhu (°C)	29	29	29	29	29	29	29
DO (mg/L)	1	1	1.5	1	1,4	1	1
BOD (mg/L)	9,44	9,80	11,98	8,32	26,08	17,36	26,57
COD (mg/L)	113	95	147	78	114	117	110
Ammonia-N (mg/L)	1,77	1,95	0,86	1,99	0,33	0,89	1,23
Total Fosfat Sebagai P (mg/L)	1,76	1,68	1,05	1,54	1,69	1,31	1,60

Lampiran II Indeks Pencemaran Kualitas Air Bozem Morokrembangan
Tabel 2.1. Indeks Pencemaran Kualitas Air Hari Ke-1

Titik Sampling	Parameter							Ci/Li (rata-rata)	Ci/Li (Maks)	Harga IPj	Kategori
	pH	Suhu (⁰ C)	DO	COD	BOD	Ammonia	Total Phosfat				
1	-0.20	0,00	0,81	3,87	5,47	6,13	1,33	2,49	6,13	4,7	cemar ringan
2	-0.30	0,00	0,86	1,78	5,74	10,43	1,90	2,92	10,43	7,7	cemar sedang
3	-0.30	0,00	0,84	2,69	5,41	6,13	2,27	2,43	6,13	4,7	cemar ringan
4	-0.27	0,00	0,75	1,96	5,57	9,95	2,27	2,89	9,95	7,3	cemar sedang
5	-0.30	0,00	0,78	1,75	4,79	8,61	1,65	2,47	8,61	6,3	cemar sedang
6	-0.23	0,00	0,74	3,80	5,10	9,43	1,67	2,93	9,43	7,0	cemar sedang
7	-0.30	0,00	0,72	3,69	3,91	7,71	2,55	2,61	7,71	5,8	cemar sedang
8	-0.30	0,00	0,78	2,97	4,88	8,49	1,95	2,68	8,49	6,3	cemar sedang

Tabel 2.2. Indeks Pencemaran Kualitas Air Hari Ke-2

Titik Sampling	Parameter							Ci/Li (rata-rata)	Ci/Li (Maks)	Harga IPj	Kategori
	pH	Suhu (°C)	DO	COD	BOD	Ammonia	Total Phosfat				
1	-0,10	0,00	0,81	4,43	5.40	8,49	1,69	2,96	8,49	6,4	cemar sedang
2	-0,17	0,00	0,87	3,83	5.74	8,73	1,53	2,93	8,73	6,5	cemar sedang
3	0,23	0,33	0,84	4,17	5.42	8,85	2,48	3,19	8,85	6,7	cemar sedang
4	0,33	0,33	0,92	3,57	5.30	9,43	2,62	3,21	9,43	7,0	cemar sedang
5	-0,10	0,00	0,88	3,81	4.30	7,51	1,21	2,52	7,51	5,6	cemar sedang
6	0,20	0,33	0,85	1,64	3.65	9,82	1,25	2,53	9,82	7,2	cemar sedang
7	0,20	0,33	0,91	3,00	3.06	7,89	2,12	2,50	7,89	5,9	cemar sedang
8	-0,03	0,00	0,83	3,24	4.22	8,61	1,96	2,69	8,61	6,4	cemar sedang

Tabel 2.3. Indeks Pencemaran Kualitas Air Hari Ke-3

Titik Sampling	Parameter							Ci/Li (rata-rata)	Ci/Li (Maks)	Harga IPj	Kategori
	pH	Suhu (°C)	DO	COD	BOD	Ammonia	Total Phosfat				
1	-0,03	0,00	0,84	1,53	3,31	11,97	1,86	2,78	11,97	8,7	cemar sedang
2	0,00	0,00	0,86	2,66	3,61	12,88	2,03	3,15	12,88	9,4	cemar sedang
3	0,43	0,33	0,71	1,67	3,40	11,63	2,23	2,92	11,63	8,5	cemar sedang
4	0,10	0,00	0,74	2,87	4,22	12,12	1,96	3,15	12,12	8,9	cemar sedang
5	0,17	0,00	0,86	1,13	2,99	11,50	1,64	2,61	11,50	8,3	cemar sedang
6	0,00	0,00	0,75	2,81	4,65	11,97	2,02	3,17	11,97	8,8	cemar sedang
7	-0,13	0,00	0,84	1,30	2,60	12,46	2,43	2,79	12,46	9,0	cemar sedang
8	0,03	0,00	0,71	1,43	3,52	11,92	2,60	2,89	11,92	8,7	cemar sedang

Tabel 2.4. Indeks Pencemaran Kualitas Air Hari Ke-4

Titik Sampling	Parameter							Ci/Li (rata-rata)	Ci/Li (Maks)	Harga IPj	Kategori
	pH	Suhu (°C)	DO	COD	BOD	Ammonia	Total Phosfat				
1	-0,03	0,00	0,74	1,22	1,97	12,10	2,36	2,62	12,10	8,8	cemar sedang
2	-0,23	0,00	0,92	1,23	2,97	10,95	2,65	2,64	10,95	8,0	cemar sedang
3	0,33	0,33	0,74	2,51	2,80	11,81	2,17	2,96	11,81	8,6	cemar sedang
4	0,17	0,00	0,65	1,95	2,71	11,60	2,08	2,74	11,60	8,4	cemar sedang
5	0,17	0,33	0,64	1,95	1,96	12,44	1,17	2,67	12,44	9,0	cemar sedang
6	-0,03	0,00	0,81	1,25	3,59	12,57	2,09	2,90	12,57	9,1	cemar sedang
7	0,07	0,00	0,73	1,33	3,17	12,17	1,55	2,72	12,17	8,8	cemar sedang
8	-0,10	0,00	0,68	1,71	3,50	12,44	2,26	2,93	12,44	9,0	cemar sedang

Tabel 2.5. Indeks Pencemaran Kualitas Air Hari Ke-5

Titik Sampling	Parameter							Ci/Li (rata-rata)	Ci/Li (Maks)	Harga IPj	Kategori
	pH	Suhu (°C)	DO	COD	BOD	Ammonia	Total Phosfat				
1	-0,30	0,00	0,74	3,21	1,69	12,86	0,86	2,72	12,86	9,3	cemar sedang
2	-0,30	0,00	0,87	1,70	2,15	9,51	1,78	2,24	9,51	6,9	cemar sedang
3	0,17	0,00	0,71	3,29	4,08	12,27	1,64	3,16	12,27	9,0	cemar sedang
4	0,10	0,00	0,81	3,10	2,84	12,46	1,77	3,01	12,46	9,1	cemar sedang
5	0,13	0,00	0,77	3,53	1,21	12,63	1,15	2,77	12,63	9,1	cemar sedang
6	-0,27	0,00	0,81	1,53	1,49	12,42	1,50	2,50	12,42	9,0	cemar sedang
7	-0,30	0,00	0,73	1,85	1,50	12,55	1,04	2,48	12,55	9,0	cemar sedang
8	-0,17	0,00	0,64	2,78	1,46	11,66	1,41	2,54	11,66	8,4	cemar sedang

Tabel 2.6. Indeks Pencemaran Kualitas Air Hari Ke-6

Titik Sampling	Parameter							Ci/Li (rata-rata)	Ci/Li (Maks)	Harga IPj	Kategori
	pH	Suhu (°C)	DO	COD	BOD	Ammonia	Total Phosfat				
1	-0,13	0,00	0,81	3,14	1,98	11,97	1,93	2,81	11,97	8,7	cemar sedang
2	-0,23	0,00	0,85	1,85	2,07	12,33	1,46	2,62	12,33	8,9	cemar sedang
3	0,33	0,00	0,84	2,84	2,50	11,69	2,28	2,93	11,69	8,5	cemar sedang
4	-0,13	0,00	0,68	0,98	1,71	11,75	2,12	2,44	11,75	8,5	cemar sedang
5	-0,07	0,00	0,77	1,89	4,19	10,86	1,86	2,79	10,86	7,9	cemar sedang
6	-0,13	0,00	0,84	2,08	3,31	11,44	1,60	2,73	11,44	8,3	cemar sedang
7	0,03	0,00	0,81	2,26	4,23	11,69	1,15	2,88	11,69	8,5	cemar sedang
8	0,03	0,00	0,81	1,96	1,46	10,82	1,27	2,33	10,82	7,8	cemar sedang

Tabel 2.7. Indeks Pencemaran Kualitas Air Hari Ke-7

Titik Sampling	Parameter							Ci/Li (rata-rata)	Ci/Li (Maks)	Harga IPj	Kategori
	pH	Suhu (°C)	DO	COD	BOD	Ammonia	Total Phosfat				
1	-0,10	0,00	0,87	2,77	1,98	10,73	2,22	2,64	10,73	7,8	cemar sedang
2	-0,17	0,00	0,87	1,89	2,07	10,95	2,13	2,53	10,95	7,9	cemar sedang
3	0,33	0,00	0,81	3,33	2,50	9,16	1,11	2,46	9,16	6,7	cemar sedang
4	-0,10	0,00	0,87	1,56	1,71	10,99	1,93	2,42	10,99	8,0	cemar sedang
5	0,13	0,00	0,82	2,79	4,19	7,06	2,14	2,45	7,06	5,3	cemar sedang
6	-0,10	0,00	0,87	2,33	3,31	9,25	1,58	2,46	9,25	6,8	cemar sedang
7	0,13	0,00	0,87	2,20	4,23	9,95	2,02	2,77	9,95	7,3	cemar sedang
8	0,10	0,00	0,74	2,78	1,46	9,34	2,20	2,37	9,34	6,8	cemar sedang

Lampiran III Pengambilan Sampel dan Analisis Laboratorium

3.1 Lokasi Pengambilan Sampel



Titik Sampling 1



Titik Sampling 2



Titik Sampling 3



Titik Sampling 4



Titik Sampling 5



Titik Sampling 6



Titik Sampling 7



Titik Sampling 8

3.2 Uji Laboratorium



Analisis DO



Analisis COD



Analisis BOD



Analisis Ammonium



Analisis Total fosfat

Lampiran IV Beban Pencemaran Pemukiman dan Industri

Tabel 4.1 Beban Pencemaran Limbah Pemukiman

Tahun	Jumlah Penduduk	Beban Pencemaran (Kg/tahun)	Beban Pencemaran (Ton/tahun)
2011	124.797	99.837,60	99,838
2012	124.804	99.843,29	99,843
2013	124.811	99.848,98	99,849
2014	124.818	99.854,67	99,855
2015	124.825	99.860,36	99,860
2016	124.833	99.866,06	99,866
2017	124.840	99.871,75	99,872
2018	124.847	99.877,44	99,877
2019	124.854	99.883,14	99,883
2020	124.861	99.888,83	99,889
2021	124.868	99.894,52	99,895
Final : 2022	124.875	99.900,22	99,900
Rata –rata		99.868,91	100

Tabel 4.2 Beban Pencemaran Limbah Industri

Tahun	Jumlah Industri	Beban Pencemaran (Kg/tahun)	Beban Pencemaran (Ton/tahun)
2011	14	2,8	0,0028
2012	14	2,81	0,00281
2013	14	2,81	0,00281
2014	14	2,82	0,00282
2015	14	2,83	0,00283
2016	14	2,84	0,00284
2017	14	2,84	0,00284
2018	14	2,85	0,00285

Tahun	Jumlah Industri	Beban Pencemaran (Kg/tahun)	Beban Pencemaran (Ton/tahun)
2019	14	2,86	0,00286
2020	14	2,86	0,00286
2021	14	2,87	0,00287
2022	14	2,88	0,00288
Rata - rata		2,8392	0,0028

Tabel 4.3 Potensi Beban Pencemaran (PBP) Pemukiman Pada Kualitas Air

Tahun	PBP BOD (Ton/tahun)	PBP COD (Ton/tahun)	PBP Ammonia (Ton/tahun)	PBP TP (Ton/tahun)
2011	837,75	1.706,52	5,58	5,27
2012	837,79	1.706,62	5,59	5,28
2013	837,84	1.706,72	5,59	5,28
2014	837,89	1.706,81	5,59	5,28
2015	837,94	1.706,91	5,59	5,28
2016	837,99	1.707,01	5,59	5,28
2017	838,03	1.707,10	5,59	5,28
2018	838,08	1.707,20	5,59	5,28
2019	838,13	1.707,30	5,59	5,28
2020	838,18	1.707,40	5,59	5,28
2021	838,22	1.707,49	5,59	5,28
Final : 2022	838,27	1.707,59	5,59	5,28
Rata - Rata	838,01	1.707,06	5,59	5,28

Tabel 4.4 Potensi Beban Pencemaran (PBP) Industri Pada Kualitas Air

Tahun	PBP COD (Ton/tahun)	PBP BOD (Ton/tahun)	PBP Ammonia (Ton/tahun)	PBP TP (Ton/tahu)
2011	3,26	2,18	0,19	0,10
2012	3,27	2,18	0,19	0,10
2013	3,28	2,19	0,19	0,10
2014	3,29	2,19	0,19	0,10
2015	3,30	2,20	0,20	0,10
2016	3,30	2,20	0,20	0,10
2017	3,31	2,21	0,20	0,10
2018	3,32	2,21	0,20	0,10
2019	3,33	2,22	0,20	0,10
2020	3,34	2,22	0,20	0,10
2021	3,35	2,23	0,20	0,10
2022	3,35	2,24	0,20	0,10
Rata - rata	3,31	2,21	0,20	0,10

Tabel 4.5 Total Beban Pencemaran Perairan Bozem Morokrembangan

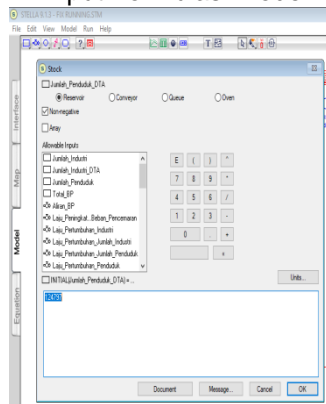
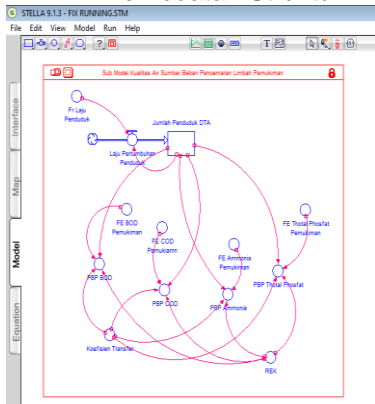
Tahun	BP Limbah Pemukiman (Ton/tahun)	BP Limbah Industri (Ton/tahun)	Aliran BP (Ton/tahun)	Total BP (Ton/tahun)
2011	99,84	0,00280	99,84	99,84
2012	99,84	0,00281	99,85	279,55
2013	99,85	0,00281	99,85	603,04
2014	99,85	0,00282	99,86	1.185,33
2015	99,86	0,00283	99,86	2.233,45
2016	99,87	0,00284	99,87	4.120,07
2017	99,87	0,00284	99,87	7.515,99
2018	99,88	0,00285	99,88	13.628,65
2019	99,88	0,00286	99,89	24.631,45
2020	99,89	0,00286	99,89	44.436,50
2021	99,89	0,00287	99,90	80.085,60
2022	99,90	0,00288	0,00	144.253,97
Rata - rata	99,87	0,0028	91,55	26.923

Tabel 4.6. Total Konsentrasi Limbah Perairan Bozem Morokrembangan

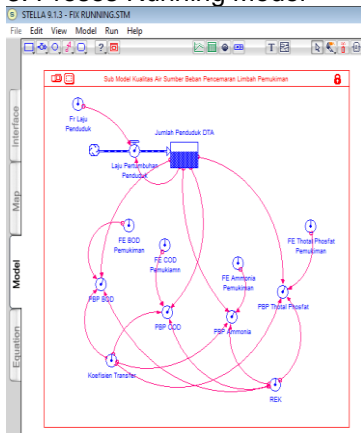
Tahun	PBP COD (Ton/tahun)	PBP BOD (Ton/tahun)	PBP Ammonia (Ton/tahun)	PBP TP (Ton/tahun)
2011	1.709,78	839,92	5,78	5,37
2012	1.709,89	839,98	5,78	5,37
2013	1.710,00	840,03	5,78	5,37
2014	1.710,10	840,08	5,78	5,37
2015	1.710,21	840,13	5,78	5,37
2016	1.710,31	840,19	5,78	5,37
2017	1.710,42	840,24	5,78	5,37
2018	1.710,52	840,29	5,78	5,38
2019	1.710,63	840,35	5,78	5,38
2020	1.710,73	840,40	5,79	5,38
2021	1.710,84	840,45	5,79	5,38
2022	1.710,95	840,51	5,79	5,38
Rata - rata	1.710,36	840,21	5,78	5,37

Lampiran V Running Model dengan Stella Versi 9.1.3

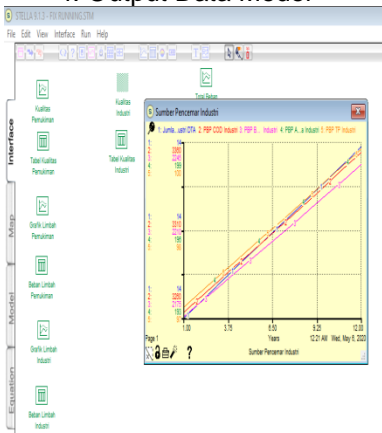
1. Pembuatan Struktur Model 2. Input Formulasi Model



3. Proseses Running Model



4. Output Data Model



Lampiran VI Formulasi Input Model dengan *Stella* Versi 9.1.3

a. Formulasi Model Beban Pencemaran Inlet Bozem

$$\text{BP_Thotal_Phosfat}(t) = \text{BP_Thotal_Phosfat}(t - dt) + (\text{Limbah_TP}) * dt$$

$$\text{INIT BP_Thotal_Phosfat} = \text{Limbah_TP}$$

INFLOWS:

$$\text{Limbah_TP} =$$

$$\text{Limbah_Kali_Greges_4} + \text{Limbah_Kali_Purwodadi_4} + \text{Limbah_Outlet_4} + \text{Limbah_Kalianak_Timur_4}$$

$$\text{Total_BP_BOD}(t) = \text{Total_BP_BOD}(t - dt) + (\text{Limbah_BOD}) * dt$$

$$\text{INIT Total_BP_BOD} = \text{Limbah_BOD}$$

INFLOWS:

$$\text{Limbah_BOD} =$$

$$\text{Limbah_Kali_Greges} + \text{Limbah_Kali_Purwodadi} + \text{Limbah_Outlet} + \text{Limbah_Kalianak_Timur}$$

$$\text{Total_BP_COD}(t) = \text{Total_BP_COD}(t - dt) + (\text{Limbah_COD}) * dt$$

$$\text{INIT Total_BP_COD} = \text{Limbah_COD}$$

INFLOWS:

$$\text{Limbah_COD} =$$

$$\text{Limbah_Kali_Greges_2} + \text{Limbah_Kali_Purwodadi_2} + \text{Limbah_Outlet_2} + \text{Limbah_Kalianak_Timur_2}$$

$$\text{Total_BP_Ammonia}(t) = \text{Total_BP_Ammonia}(t - dt) + (\text{Limbah_Ammonia}) * dt$$

$$\text{INIT Total_BP_Ammonia} = \text{Limbah_Ammonia}$$

INFLOWS:

$$\text{Limbah_Ammonia} =$$

$$\text{Limbah_Kali_Greges_3} + \text{Limbah_Kali_Purwodadi_3} + \text{Limbah_Outlet_3} + \text{Limbah_Kalianak_Timur_3}$$

$$\text{Debit_Kalianak_Timur} = 0,51$$

$$\text{Debit_Kalianak_Timur_2} = 0,51$$

$$\text{Debit_Kalianak_Timur_3} = 0,51$$

$$\text{Debit_Kalianak_Timur_4} = 0,51$$

$$\text{Debit_Kali_Greges} = 3,46$$

$$\text{Debit_Kali_Greges_2} = 3,46$$

$$\text{Debit_Kali_Greges_3} = 3,46$$

Debit_Kali_Greges_4 = 3,46
 Debit_Kali_Purwodadi = 0,51
 Debit_Kali_Purwodadi_2 = 0,51
 Debit_Kali_Purwodadi_3 = 0,51
 Debit_Kali_Purwodadi_4 = 0,51
 Debit_Outlet = 1,82
 Debit_Outlet_2 = 1,82
 Debit_Outlet_3 = 1,82
 Debit_Outlet_4 = 1,82
 Konsentrasi_Kali_Greges = 21
 Konsentrasi_Kali_Greges_2 = 136
 Konsentrasi_Kali_Greges_3 = 2,4
 Konsentrasi_Kali_Greges_4 = 1,4
 Konsentrasi_Kali_Purwodadi = 24
 Konsentrasi_Kali_Purwodadi_2 = 102
 Konsentrasi_Kali_Purwodadi_3 = 2,2
 Konsentrasi_Kali_Purwodadi_4 = 1,6
 Konsentrasi_Outlet = 17
 Konsentrasi_Outlet_2 = 107
 Konsentrasi_Outlet_3 = 2
 Konsentrasi_Outlet_4 = 1,6
 Konsentrasi_Kalianak_Timur = 23
 Konsentrasi_Kalianak_Timur_2 = 105
 Konsentrasi_Kalianak_Timur_3 = 2,4
 Konsentrasi_Kalianak_Timur_4 = 1,7
 Limbah_Kali_Greges =
 $\text{Debit_Kali_Greges} \times \text{Konsentrasi_Kali_Greges} \times 0,000006 \times 3600 \times 24 \times 360$
 Limbah_Kali_Greges_2 =
 $\text{Debit_Kali_Greges_2} \times \text{Konsentrasi_Kali_Greges_2} \times 0,000006 \times 3600 \times 24 \times 360$
 Limbah_Kali_Greges_3 =
 $\text{Debit_Kali_Greges_3} \times \text{Konsentrasi_Kali_Greges_3} \times 0,000006 \times 3600 \times 24 \times 360$
 Limbah_Kali_Greges_4 =
 $\text{Debit_Kali_Greges_4} \times \text{Konsentrasi_Kali_Greges_4} \times 0,000006 \times 3600 \times 24 \times 360$

Limbah_Kali_Purwodadi =
 Debit_Kali_Purwodadi*Konsentrasi_Kali_Purwodadi*0,000006*3600*24*360
 Limbah_Kali_Purwodadi_2 =
 Debit_Kali_Purwodadi_2*Konsentrasi_Kali_Purwodadi_2*0,000006*3600*24*360
 Limbah_Kali_Purwodadi_3 =
 Debit_Kali_Purwodadi_3*Konsentrasi_Kali_Purwodadi_3*0,000006*3600*24*360
 Limbah_Kali_Purwodadi_4 =
 Debit_Kali_Purwodadi_4*Konsentrasi_Kali_Purwodadi_4*0,000006*3600*24*360
 Limbah_Outlet =
 Debit_Outlet*Konsentrasi_Outlet*0,000006*3600*24*360
 Limbah_Outlet_2 =
 Debit_Outlet_2*Konsentrasi_Outlet_2*0,000006*3600*24*360
 Limbah_Outlet_3 =
 Debit_Outlet_3*Konsentrasi_Outlet_3*0,000006*3600*24*360
 Limbah_Outlet_4 =
 Debit_Outlet_4*Konsentrasi_Outlet_4*0,000006*3600*24*360
 Limbah_Kalianak_Timur =
 Debit_Kalianak_Timur*Konsentrasi_Kalianak_Timur*0,000006*3600*24*360
 Limbah_Kalianak_Timur_2 =
 Debit_Kalianak_Timur_2*Konsentrasi_Kalianak_Timur_2*0,000006*3600*24*360
 Limbah_Kalianak_Timur_3 =
 Debit_Kalianak_Timur_3*Konsentrasi_Kalianak_Timur_3*0,000006*3600*24*360
 Limbah_Kalianak_Timur_4 =
 Debit_Kalianak_Timur_4*Konsentrasi_Kalianak_Timur_4*0,000006*3600*24*360

b. Formulasi Sub Model Pencemar Pemukiman

Jumlah_Penduduk_DTA(t) = Jumlah_Penduduk_DTA(t - dt) +
 (Laju_Pertumbuhan_Penduduk) * dt
 INIT Jumlah_Penduduk_DTA = 124797

INFLOWS:

Laju_Pertumbuhan_Penduduk =
 $Fr_Laju_Penduduk * Jumlah_Penduduk_DTA$
 $FE_Ammonia_Pemukiman = 0,0648$
 $FE_BOD_Pemukiman = 9,72$
 $FE_COD_Pemukiamn = 19,8$
 $FE_Thotal_Phosfat_Pemukiman = 0,0612$
 $Fr_Laju_Penduduk = 0,000057$
 $Koefisien_Transfer = 0,85$
 $PBP_Ammonia =$
 $Jumlah_Penduduk_DTA * FE_Ammonia_Pemukiman * Koefisien_Transfer * REK$
 $PBP_BOD =$
 $Jumlah_Penduduk_DTA * FE_BOD_Pemukiman * Koefisien_Transfer * REK$
 $PBP_COD =$
 $Jumlah_Penduduk_DTA * FE_COD_Pemukiamn * Koefisien_Transfer * REK$
 $PBP_Thotal_Phosfat =$
 $Jumlah_Penduduk_DTA * FE_Thotal_Phosfat_Pemukiman * Koefisien_Transfer * REK$
 $REK = 0,8125$

c. Formulasi Sub Model Pencemar Industri

$Jumlah_Industri_DTA(t) = Jumlah_Industri_DTA(t - dt) +$
 $(Laju_Pertumbuhan_Industri) * dt$
 $INIT\ Jumlah_Industri_DTA = 14$

INFLOWS:

$Laju_Pertumbuhan_Industri =$
 $Fraksi_Laju_Industri * Jumlah_Industri_DTA$
 $Beban_Transfer = 0,85$
 $FE_Ammonia_Industri = 20$
 $FE_BOD_Industri = 225$
 $FE_COD_Industri = 337,5$
 $FE_TP_Industri = 10$
 $Fraksi_Laju_Industri = 0,0025$
 $PBP_Ammonia_Industri =$
 $Jumlah_Industri_DTA * FE_Ammonia_Industri * Beban_Transfer * REK_Industri$

$PBP_BOD_Industri =$
 $Jumlah_Industri_DTA * FE_BOD_Industri * Beban_Transfer * REK_Industri$
 $PBP_COD_Industri =$
 $Jumlah_Industri_DTA * FE_COD_Industri * Beban_Transfer * REK_Industri$
 $PBP_TP_Industri =$
 $Jumlah_Industri_DTA * Beban_Transfer * FE_TP_Industri * REK_Industri$
 $REK_Industri = 0,8125$

d. Formulasi Sub Model Total Beban Pencemaran

$Jumlah_Industri(t) = Jumlah_Industri(t - dt) +$
 $(Laju_Pertumbuhan_Jumlah_Industri) * dt$
 $INIT\ Jumlah_Industri = 14$

INFLOWS:

$Laju_Pertumbuhan_Jumlah_Industri =$
 $Fr_Laju_Industri * Jumlah_Industri$
 $Jumlah_Penduduk(t) = Jumlah_Penduduk(t - dt) +$
 $(Laju_Pertumbuhan_Jumlah_Penduduk) * dt$
 $INIT\ Jumlah_Penduduk = 124797$

INFLOWS:

$Laju_Pertumbuhan_Jumlah_Penduduk =$
 $Fr_Laju_Penduduk * Jumlah_Penduduk$
 $Total_BP(t) = Total_BP(t - dt) + (Aliran_BP +$
 $Laju_Peningkatan_Beban_Pencemaran) * dt$
 $INIT\ Total_BP = Aliran_BP$

INFLOWS:

$Aliran_BP = BP_Limbah_Industri + BP_Limbah_Pemukiman$
 $Laju_Peningkatan_Beban_Pencemaran =$
 $Total_BP * Fraksi_Peningkatan_Beban_Pencemaran$
 $BP_Limbah_Industri =$
 $Fraksi_Industri_Pembuang_Limbah * Jumlah_Industri$
 $BP_Limbah_Pemukiman =$
 $Fraksi_Penduduk_Pembuang_Limbah * Jumlah_Penduduk$
 $Fraksi_Industri_Pembuang_Limbah = 0,2$
 $Fraksi_Penduduk_Pembuang_Limbah = 0,8$
 $Fraksi_Peningkatan_Beban_Pencemaran = 0,8$

$Fr_Laju_Industri = 0,0025$

$Fr_Laju_Penduduk = 0,000057$

e. Formulasi Sub Model Skenario Pesimistik

$Jumlah_Industri(t) = Jumlah_Industri(t - dt) +$

$(Laju_Pertumbuhan_Jumlah_Industri) * dt$

INIT $Jumlah_Industri = 14$

INFLOWS:

$Laju_Pertumbuhan_Jumlah_Industri =$

$Fr_Laju_Industri * Jumlah_Industri$

$Jumlah_Penduduk(t) = Jumlah_Penduduk(t - dt) +$

$(Laju_Pertumbuhan_Jumlah_Penduduk) * dt$

INIT $Jumlah_Penduduk = 124797$

INFLOWS:

$Laju_Pertumbuhan_Jumlah_Penduduk =$

$Fr_Laju_Penduduk * Jumlah_Penduduk$

$Total_BP(t) = Total_BP(t - dt) + (Aliran_BP +$

$Laju_Peningkatan_Beban_Pencemaran) * dt$

INIT $Total_BP = Aliran_BP$

INFLOWS:

$Aliran_BP = BP_Limbah_Industri + BP_Limbah_Pemukiman$

$Laju_Peningkatan_Beban_Pencemaran =$

$Total_BP * Fraksi_Peningkatan_Beban_Pencemaran$

$BP_Limbah_Industri =$

$Fraksi_Industri_Pembuang_Limbah * Jumlah_Industri$

$BP_Limbah_Pemukiman =$

$Fraksi_Penduduk_Pembuang_Limbah * Jumlah_Penduduk$

$Fraksi_Industri_Pembuang_Limbah = 0,2$

$Fraksi_Penduduk_Pembuang_Limbah = 0,8$

$Fraksi_Peningkatan_Beban_Pencemaran = 0,8$

$Fr_Laju_Industri = 0,0025$

f. Formulasi Sub Model Skenario Moderat

$Jumlah_Industri_2(t) = Jumlah_Industri_2(t - dt) +$

$(Laju_Pertumbuhan_Jumlah_Industri_2) * dt$

INIT $Jumlah_Industri_2 = 14$

INFLOWS:

$Laju_Pertumbuhan_Jumlah_Industri_2 =$

$Fr_Laju_Industri_2 * Jumlah_Industri_2$

$Jumlah_Penduduk_2(t) = Jumlah_Penduduk_2(t - dt) +$
 $(Laju_Pertumbuhan_Jumlah_Penduduk_2) * dt$
 INIT Jumlah_Penduduk_2 = 124797

INFLOWS:

Laju_Pertumbuhan_Jumlah_Penduduk_2 =
 $Fr_Laju_Penduduk_2 * Jumlah_Penduduk_2$
 $Total_Beban_Pencemaran(t) = Total_Beban_Pencemaran(t - dt)$
 $+ (Aliran_Limbah + IPAL) * dt$
 INIT Total_Beban_Pencemaran = Aliran_Limbah*IPAL

INFLOWS:

Aliran_Limbah =
 $(BP_Limbah_Pemukiman_2 + BP_Limbah_Industri_2) * Partisipasi_Masyarakat$
 $IPAL = Efisiensi_IPAL * Unit_IPAL$
 $BP_Limbah_Industri_2 =$
 $Fraksi_Industri_Pembuang_Limbah_2 * Jumlah_Industri_2 * Reduksi_Limbah_Industri$
 $BP_Limbah_Pemukiman_2 =$
 $Fraksi_Penduduk_Pembuang_Limbah_2 * Jumlah_Penduduk_2 * Reduksi_Limbah_Pemukiman$
 $Efisiensi_IPAL = 0,3$
 $Fraksi_Industri_Pembuang_Limbah_2 = 0,2$
 $Fraksi_Penduduk_Pembuang_Limbah_2 = 0,8$
 $Fr_Laju_Industri_2 = 0,0025$
 $Fr_Laju_Penduduk_2 = 0,000057$
 $Partisipasi_Masyarakat = 0,45$
 $Reduksi_Limbah_Industri = 0,2$
 $Reduksi_Limbah_Pemukiman = 0,25$
 $Unit_IPAL = 5$

g. Formulasi Sub Model Skenario Optimistik

$Jumlah_Industri_3(t) = Jumlah_Industri_3(t - dt) +$
 $(Laju_Pertumbuhan_Jumlah_Industri_3) * dt$
 INIT Jumlah_Industri_3 = 14

INFLOWS:

Laju_Pertumbuhan_Jumlah_Industri_3 =
 $Fr_Laju_Industri_3 * Jumlah_Industri_3$
 $Jumlah_Penduduk_3(t) = Jumlah_Penduduk_3(t - dt) +$
 $(Laju_Pertumbuhan_Jumlah_Penduduk_3) * dt$

INIT Jumlah_Penduduk_3 = 124797

INFLOWS:

Laju_Pertumbuhan_Jumlah_Penduduk_3 =

Fr_Laju_Penduduk_3*Jumlah_Penduduk_3

Total_Beban_Pencemaran_2(t) = Total_Beban_Pencemaran_2(t - dt) + (Aliran_Limbah_2 + IPAL_2) * dt

INIT Total_Beban_Pencemaran_2 = Aliran_Limbah_2*IPAL_2

INFLOWS:

Aliran_Limbah_2 =

(BP_Limbah_Pemukiman_3+BP_Limbah_Industri_3)*Partisipasi_Masyarakkat_2

IPAL_2 = Efisiensi_IPAL_2*Unit_IPAL_2

BP_Limbah_Industri_3 =

Fraksi_Industri_Pembuang_Limbah_3*Jumlah_Industri_3*Reduksi_Limbah_Industri_2

BP_Limbah_Pemukiman_3 =

Fraksi_Penduduk_Pembuang_Limbah_3*Jumlah_Penduduk_3*Reduksi_Limbah_Pemukiman_2

Efisiensi_IPAL_2 = 0,3

Fraksi_Industri_Pembuang_Limbah_3 = 0,1

Fraksi_Penduduk_Pembuang_Limbah_3 = 0,15

Fr_Laju_Industri_3 = 0,0025

Fr_Laju_Penduduk_3 = 0,000057

Partisipasi_Masyarakkat_2 = 0,7

Reduksi_Limbah_Industri_2 = 0,2

Reduksi_Limbah_Pemukiman_2 = 0,75

Unit_IPAL_2 = 5

Lampiran VII Dokumentasi Kondisi Eksisting Bozem
Morokrembangan



Outlet Kali Purwodad



Area Pemukiman



Inlet Kali Purwodadi



Inlet Pintu Air Bozem



Kali Greges



Outlet Bozem

BIOGRAFI PENULIS



Penulis lahir di Banggoi, Maluku pada tanggal 14 Mei 1999. Pendidikan formal yang ditempuh oleh penulis yaitu SD Inpress Banggoi Maluku, SMP Negeri 1 Bula Kab. SBT Provinsi Maluku dan SMA Negeri Siwalima Ambon Provinsi Maluku. Penulis melanjutkan pendidikan pada jenjang sarjana di Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan (FTSLK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalui jalur beasiswa ADIK. Selama menempuh perkuliahan penulis mengikuti organisasi di Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) sebagai staff aksi komunitas Kelompok Pecinta dan Pemerhati Lingkungan (KPPL) periode 2017 – 2018 dan mengembang tanggung jawab sebagai kepala divisi eksternal komunitas Kelompok Pecinta dan Pemerhati Lingkungan (KPPL) periode 2018 – 2019. Pada juli 2019 penulis melaksanakan Kerja Praktik (KP) di Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) Karang Pilang III PDAM Surya Sembada Surabaya.





**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN FAKULTAS
TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**


FORM FTA-03

KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR


Nama : Emelya Eka Safitri
Paitaha
NRP : 03211640007001
Judul : Kajian Kualitas dan
Status Mutu Air
Terhadap Upaya
Pengelolaan Air Waduk
Dengan Pendekatan
Sistem Dinamik
(Studi Kasus: Boezem
Morokrembangan)

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1	13 Feb 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Perbaiki proposal Tugas Akhir disesuaikan dengan kritik dan saran dari penguji - Membuat sub model <i>causal loop</i> Karena menjelaskan sebab – akibat dari permasalahan yang dibahas - Untuk data debit dicoba kirim proposal ke PJT provinsi - Judul tugas akhir berubah bukan lagi sebagai air baku diganti dengan status mutu untuk pengelolaan waduk 	
2	19 Feb 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Sesuatu yang dinamik harus <i>timeseries</i> karena perubahan dapat signifikan. <i>Timeseries</i> berbeda dengan grab sampling dan komposit sampling - Dilakukan hal teknis agar dapat menjawab sesuai tujuan penelitian dengan data sekunder dibutuhkan untuk perbandingan data primer 	
3	20 April 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Gunakan debit dari perolehan data sekunder untuk analisis beban 	

		<p>pencemaran dikarenakan kondisi tidak memungkinkan ke lapangan</p> <ul style="list-style-type: none"> - Judul TA diperbaiki menjadi “Kajian Kualitas dan Status Mutu Air Terhadap Upaya Pengelolaan Boezem Morokrembangan dengan Pendekatan Sistem Dinamik” - Dijelaskan terhadap pengambilan sampel dilapangan - Dijelaksan terkait pengolahan data primer dan sekunder - Pembahasan dijelaskan pada data primer yang diperoleh dari hasil laboratorium dan data sekunder yang digunakan - Dijelaskan apa yang dimaksud dengan tercemar sedang, alasannya - Diperjelas pembahasan tentang indeks pencemaran karena menjawab tujuan yang pertama - Kesimpulan menjawab tujuan 	
--	--	--	--

		<ul style="list-style-type: none"> - Daftar pustaka dicek kembali 	
4	27 April 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Dikaji lagi terkait aspek teknis apa yang harus dibahas terkait aspek teknis - Menjelaskan penyebab dari rendah dan tingginya konsentrasi diperairan, alasannya - Membuat dan menjelaskan perbandingan antara baku mutu air kelas III dan baku mutu air kelas IV disesuaikan dengan peruntukan Boezem Morokrembangan - Kualitas air menyesuaikan dengan Permen LH yang digunakan - Kesimpulan menjawab tujuan - Menambahkan saran untuk mengupayakan Kali Greges dan Kali Purwodadi dari baku mutu air kelas IV menjadi baku mutu air kelas III, 	

5	9 Mei 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Bab IV di pembahasan dijelaskan dari mana sumber pencemarannya - Menjelaskan tentang deviasi suhu sesuai baku mutu yang digunakan - Buat kesimpulan pada setiap analisis, bagaimana suhu boezem setelah dianalisis - Menjelaskan pH rendah berapa yang dapat mengakibatkan toksisitas pada perairan ? Bagaimana dengan pH yang tinggi ? - Kondisi DO perairan berapa nilainya ? penyebabnya hingga rendah apa ? pada saat apa DO tidak memenuhi ? - Menjelaskan penyebab COD tinggi pada boezem bagian selatan - Bagaimana perbandingan kualitas air kelas III dan kelas IV perairan Boezem ? - Menjelaskan BOD rendah tingginya di perairan, apa yang menyebabkan sehingga bisa menjadi toksik ? Dijelaskan dengan rasio COD/BODnya - NH_3 juga berpengaruh 	
---	---------------	--	--

		<p>terhadap BOD, dicari alasannya.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tren konsentrasi fosfat akan menurun seiring dengan tingginya konsentrasi BOD, dimasukkan ke pembahasan - Buat sub model analisis beban pencemarnya - Upaya pengelolaan dijelaskan terkait aspek teknisnya - Kesimpulan dan saran diperbaiki. 	
6	20 Mei 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Menjelaskan penggunaan data debit yang digunakan dari data sekunder - Sebagai saran ditambahkan untuk melakukan pengukuran debit agar penelitian menjadi signifikan - Pada pembahasan indeks pencemaran dijelaskan kategori air kelas bozem - Menjelaskan apa yang menyebabkan terjadinya sedimentasi pada boezem, pengaruh td atau kecepatan ? - Sebagai saran ditambahkan untuk 	

		<p>megupayakan pengurusan pada boezem</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pada pembahasan dijelaskan setiap gambar grafik dan gambar sub model seperti apa alurnya - Bagaimana hubungan antara validasi struktur dan validasi output - Menjelaskan kesimpulan pada setiap skenario - Menjelaskan alasan menggunakan skenario dengan beban pencemaran terendah - Kesimpulan dan saran diperbaiki - Menambahkan biografi 	
7	22 Mei 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Menjelaskan penyebab terjadinya sedimentasi dan bagaimana upaya pengelolaan - Memperbaiki redaksional - Dijelaskan lebih rinci tentang skenario upaya pengelolaan 	
8	7 Juni 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Revisi laporan Tugas Akhir dan PPT seminar kemajuan progress - Dijelaskan secara singkat dan jelas karena waktu presentasi 10 menit, perhatikan waktu 	

		<ul style="list-style-type: none"> - Kesimpulan menjawab tujuan, dicek lagi dengan tujuan penelitian - Menggunakan standar baku mutu air kelas III tidak usah menggunakan baku mutu air kelas IV, disesuaikan dengan peruntukkan bozem 	
9	23 Juni 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Revisi laporan sesuai dengan saran dosen penguji - Dijelaskan alasan tidak menggunakan area pergudangan sebagai sumber pencemar - Jelaskan penyebab terjadinya sedimentasi pada dasar bozem - Saran no 1 sebaiknya dihapus saja - Dijelaskan tentang perolehan data debit - Pendahuluan ditambahkan tentang alasan sudah tidak digunakan lagi sebagai tempat pemeliharaan ikan - Perbaiki redaksional 	
10	8 Juli 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Gunakan baku mutu sesuai dengan peruntukkannya yaitu kelas III - Jelaskan tentang debit air 	

		<p>limbah pemukiman dan industri lebih besar dari pergudangangan dan pasar</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tambahkan referensi sesuai dengan DKRTH - Jelaskan bahwa penyusunan sub model dinamik kulaitas air untuk memperoleh beban pencemar - Jelaskan tentang alasan digunakan simulasi model - Cantumkan hasil wawancara bersama DKRTH 	
11	29 Juli 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Cek salah ketik dan redaksional - Kesimpulan dipersingkat - Perbaiki alasan simulasinya dan jadikan saran untuk masing – masing parameter - Aspek kelembagaan sebaiknya diganti karena tidak punya tupoxy yang jelas dari lembaga terkait - Berikan penjelasan bahwa panjangnya masa perencanaan ditentukan oleh jenis data dan validasi data - Dari semua aktivitas bozem, aktivitas manakah 	

		<p>yang memberikan beban pencemaran terbesar</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kata kunci pada abstrak harus lebih spesifik - Rapikan daftar isi,tabel, dan gambar - Sumber – sumber online harus dicantumkan URLnya - Gambar dan tabel di lampiran harus lebih merujuk 	
--	--	--	--

Surabaya, 5 Agustus 2020.

Dosen Pembimbing

Prof. Dr.Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc

Saran Perbaikan Ujian Lisan TA Genap 2019/2020

HOME ([HTTP://ENVIRO.ITS.AC.ID](http://enviro.its.ac.id))

Lisan MKL

Lab Manajemen Kualitas Lingkungan

Input NRP anda (tanpa spasi,format: 32xxxxxxxxxx) *

Emelya Eka Safitri Paitaha (3211640007001)

Dosen Pembimbing: Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc

Saran:

perbaiki alasan simulasinya dan jd kan saran untuk simulasi masing masing parameter

LULUS

Dosen Penguji 1: Ir. Atiek Moesriati, MKes

Saran:

- cek salah ketik dan redaksional

- kesimpulan dipersingkat

LULUS, Lulus dengan perbaikan

Dosen Penguji 2: Dr. Ir. Irwan Bagyo S, MT.

Saran:

Sesuai saat ujian (putar ulang hasil rekaman ujian)

LULUS

Dosen Penguji 3: Bieby Vojiant Tangahu, ST, MT, PhD

Saran:

1. Berikan penjelasan bahwa panjangnya masa perencanaan ditentukan oleh jenis data dan hasil validasi data
2. Dari semua aktivitas di boezem, aktivitas manakah yang memberikan sumbangan terbesar terhadap pencemaran boezem, dijelaskan di dalam pembahasan dan ditunjukkan secara kuantitatif
3. Kata kunci harus lebih spesifik sesuai dengan penelitian yang dilakukan, jangan terlalu umum seperti: kualitas air, pengelolaan, sistem dinamik → tidak menggambarkan penelitian yang

8/4/2020, 1:01 PM

Perbaikan Ujian Lisan TA Genap 2019/2020 | Departemen Teknik ... http://enviro.its.ac.id/?page_id=3904#1595106604437-9ffe99cb-f89d

dilakukan dan terlalu umum

4. Daftar isi/tabel/gambar harus dirapikan

5. Sumber-sumber online tidak boleh hanya ditulis: google → harus ditulis url nya sehingga kalau di klik url itu akan muncul gambar/ data literatur yang dikutip (contoh gambar 2.1 hal 7, gambar 3.2 hal 38)

6. Gambar, Tabel dan Lampiran yang dikutip harus dirujuk, misalnya: dapat dilihat di Lampiran 1 dst.

Lihat lebih lanjut (https://drive.google.com/open?id=1nxiOYianwYlgpm_tePRAhNYP9y50O9Id)

LULUS

Acti
Go to

